

not used

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-149899

(43) 公開日 平成10年(1998) 6月2日

End date

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 5 H 1/46

H 0 5 H 1/46

L

M

H 0 1 L 21/3065

H 0 1 L 21/302

B

審査請求 未請求 請求項の数71 OL (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願平9-287181

(22) 出願日 平成9年(1997)10月20日

(31) 優先権主張番号 08/734015

(32) 優先日 1996年10月18日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 390040660

アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド

APPLIED MATERIALS, INCORPORATED

アメリカ合衆国 カリフォルニア州

95054 サンタ クララ パウアーズ アベニュー 3050

(72) 発明者 ゲーハート シュナイダー

アメリカ合衆国, カリフォルニア州,

クバティノ, アリシア コート 10425

(74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外4名)

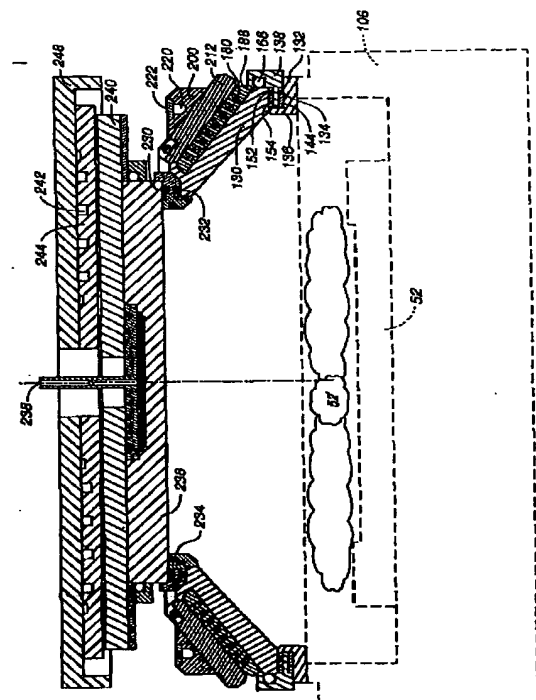
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 円錐形ドームを有する誘電結合平行平板型プラズマリアクター

(57) 【要約】

【課題】 正確な温度制御が可能なプラズマ反応チャンバを提供することを課題とする。

【解決手段】 基板処理位置52'を包囲するチャンバ壁130を円錐台形状とし、この外表面に面接触するコイル支持部材188内に誘導コイル180が設けられている。誘導コイル180の外側には、内部に加熱体を有するヒーター被覆212が配され、さらにその外周に内部に水などの伝熱流体を流す冷却流体通路220を有する冷却リング200が配置されている。この構成により、チャンバ壁130から冷却リング200まではそれぞれの温度差で膨張率が異なっても面接触を維持したまま摺動するので、広い伝熱面を有し、加熱体や伝熱流体を利用してチャンバ壁130の温度をほぼ一定に保つことができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 チャンバ内の基板処理位置に面した内壁面と前記内壁面に対向する円錐形外壁面とを有する円錐形部分を有するチャンバ壁と、  
前記外壁面の直近に配設されて次第に径が拡大している多重巻線を有する円錐形誘導コイルと、  
を備えるプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項2】 前記内壁が円錐形の請求項1に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項3】 前記チャンバ壁の前記円錐形部分は正円錐台であり、前記正円錐台の頂端に配置された対向電極をさらに備える請求項1に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項4】 前記対向電極に面してウェーハを支持するベDESTALと、  
前記ベDESTALと前記対向電極との間に接続されたRF電源と、  
をさらに備える請求項3に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項5】 前記ベDESTALと前記対向電極は、互いにほぼ等しい対向表面積を有する請求項4に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項6】 前記次第に径が拡大している多重巻線は、ほぼ一定のピッチで等間隔に配置されている請求項1に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項7】 前記次第に径が拡大している多重巻線は、可変ピッチで不等間隔に配置されている請求項1に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項8】 前記チャンバ壁の下縁を支持する環状棚部と、前記下縁の外側を囲む環状壁とを有するとともに、前記下縁に面する内部に形成された環状溝を有する導電性支持リングと、  
前記溝に嵌合され、前記下縁に接触する導体ばね部材と、  
をさらに備える請求項1に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項9】 前記支持リングはさらに、内部に形成された略環状の流体冷却溝を含む請求項8に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項10】 前記処理位置に対向する前記円錐形部分の端部上方に配置された前記チャンバのルーフと、  
前記ルーフの上方に接地された第2の誘導コイルと、  
をさらに備える請求項1に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項11】 前記ルーフはほぼ平坦な外表面部分を含み、前記ほぼ平坦な外表面部分に前記ルーフに接触する熱制御体を備える請求項10に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項12】 前記チャンバ壁の前記円錐部分の切頭端の頂部を形成し、内側が前記基板処理位置に対して露

出されるとともに前記内側に対向する外側を有するルーフ部材と、

円筒軸を有し、前記円錐部分の前記切頭端内のほぼ中心に配置された前記ルーフ部材の前記外側の近傍に、前記円筒軸端を前記基板処理位置のほぼ中心に向けるようにして配置されるヘリカルワイヤーコイルと、  
をさらに備える請求項1に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項13】 前記ルーフ部材は、ルーフ円錐部材を形成する前記チャンバ壁の前記円錐形部分と一体で整形されている請求項12に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項14】 前記ルーフ円錐部材がポリシリコン材料製である請求項12に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項15】 前記ルーフ円錐部材がシリコンカーバイド材料製である請求項12に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項16】 前記ヘリカルワイヤーコイルの一端は、前記円錐形誘導コイルの一端に直列接続されている請求項12に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項17】 前記ヘリカルワイヤーコイルによって誘導される電界の効果を、円錐形誘導コイルによって誘導される電界に対して設定するコイル電力分割回路を備える請求項16に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項18】 前記壁の前記外壁面とその内面との間の熱伝達のために面接触するよう構成された円錐形内面を持つ、熱伝導性が高い剛性を有する誘電体部材内に前記誘導コイルが格納され、前記チャンバ壁の外壁面と前記誘電体部材の内側円錐面との間の摺動が、前記チャンバ壁と前記誘電体部材の間の温度の変化と温度差による動きを吸収する請求項1に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項19】 前記誘電体部材はセラミック製である請求項18に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項20】 前記誘電体部材は、前記部材と前記側壁を加熱する前記誘導コイルの外側に配置された加熱体を含む請求項18に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項21】 前記加熱部材は、前記誘電体部材の外側の円錐形リング部分に埋め込まれ、熱伝達接続を介して内側の円錐形リング部材に固定される請求項18に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項22】 前記誘電体部材の外面に取付けられて熱接触するとともに、内部に熱伝達流体を流す冷却流体通路を有する冷却リングをさらに備える請求項18に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項23】 前記チャンバ壁は、  
前記チャンバ内の基板処理位置に面する第1面と前記第1面に対向する第2面を有するシリコン含有材料製の円錐形の誘電体チャンバと、

前記側壁の第2面に熱接触する加熱部材と、  
前記チャンバ側壁と前記加熱部材とを囲むように構成され、通電されると前記基板処理位置でガスを誘導してプラズマを形成するよう配置される誘導コイルと、  
前記側壁の一端に隣接して配設されるとともに前記側壁との間に熱伝導接続部が設けられ、内部を流れる熱伝達流体との間で熱エネルギー伝達を行う冷却流体通路を含む冷却リングと、  
をさらに備える請求項1に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項24】 次第に径が拡大する多重巻線を有する円錐形誘導コイルを備え、前記巻線を結んで形成される仮想円錐形表面の内側が、前記チャンバ内の基板処理位置に面する前記チャンバのひとりの壁にはほぼ平行に配設されるプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項25】 前記真空処理チャンバの前記壁が、前記基板処理位置と前記誘導コイルとの間に配設される請求項24に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項26】 前記真空処理チャンバの前記壁がポリシリコン材料製である請求項25に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項27】 前記真空処理チャンバの前記壁がシリコンカーバイド材料線である請求項25に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項28】 前記チャンバ内で処理される基板を支持面上に支持するベDESTALと、  
前記支持面に面する円錐部分を含むチャンバ壁と、  
前記支持された基板に面し、前記ベDESTALから離れた前記円錐部分の縁に配設された略平坦なルーフと、  
を備えるプラズマリアクタ。

【請求項29】 前記ルーフの外面に配置された誘導コイルをさらに備える請求項28に記載のプラズマリアクタ。

【請求項30】 前記ルーフは、前記ベDESTALとの間に接続可能なRF電源を有する電極をさらに備える請求項28に記載のプラズマリアクタ。

【請求項31】 前記RF電源は、前記ベDESTALと前記電極の両方にRF電力を供給する電力分割回路を含む請求項30に記載のプラズマリアクタ。

【請求項32】 前記電力分割回路は、前記RF電力を所定の比率で前記ベDESTALと前記電極へ分割する請求項30に記載のプラズマリアクタ。

【請求項33】 前記RF電源が前記ベDESTALへ電力を供給するとともに前記電極は所定の電位に維持される請求項30に記載のプラズマリアクタ。

【請求項34】 前記円錐部分の周りに巻かれた誘導コイルと、  
前記誘導コイルに選択的に電力を供給する第2RF電源と、  
をさらに備える請求項30に記載のプラズマリアクタ。

【請求項35】 前記ルーフは電極を備え、  
前記ベDESTAL、前記円錐部分、および前記電極へ、選択的に接続可能な電力供給・接地手段をさらに備える請求項28に記載のプラズマリアクタ。

【請求項36】 プラズマ処理チャンバ内に配置され、基板を上部に支持可能な支持面を有する基板サポートと、

前記支持面に面するとともに円錐形外面を有し、前記チャンバの一部分を形成する壁と、

10 前記壁との間で熱伝導するよう、前記壁の前記円錐形外面と摺動可能に接触可能な円錐形内面を有する熱制御体と、  
を備えるプラズマ処理チャンバ。

【請求項37】 前記熱制御体は、高い剛性を有する請求項36に記載のプラズマ処理チャンバ。

【請求項38】 前記熱制御体は、セラミック製である請求項37に記載のプラズマ処理チャンバ。

【請求項39】 前記熱制御体は、内部を貫通する冷却流体溝を含む請求項36に記載のプラズマ処理チャンバ。

【請求項40】 前記熱制御体は、抵抗ヒーターを追加として含む請求項39に記載のプラズマ処理チャンバ。

【請求項41】 前記熱制御体は、電気抵抗ヒーターを含む請求項36に記載のプラズマ処理チャンバ。

【請求項42】 側壁を持つ真空チャンバと、  
前記側壁の周りに巻かれた誘導コイルと、  
前記誘導コイルと前記側壁とに隣接して配置されたヒーターと、を備え、

30 前記ヒーターは、前記誘導コイルにほぼ直角に走るほぼ直線状の部分と、前記直線状部分同士を接続するとともに前記誘導コイルから前記直線状部分の中央部より離れて配置された屈曲部分とからなるヒーターワイヤーを備え、それによって前記誘導コイルと前記真空チャンバとの間で操作可能なファラデーシールドを形成するプラズマ処理チャンバ。

【請求項43】 前記側壁が円錐形である請求項42に記載のプラズマ処理チャンバ。

【請求項44】 前記ヒーターの前記ヒーターワイヤーが、前記誘導コイルと前記側壁との間に配設されている請求項43に記載のプラズマ処理チャンバ。

【請求項45】 前記ヒーターの前記ヒーターワイヤーが、前記誘導コイルと前記側壁との間に配設されている請求項42に記載のプラズマ処理チャンバ。

【請求項46】 第1のリムを有する略円筒形の第1のチャンバ本体と、第2のリムを有する略円筒形の第2のチャンバ本体とを含むプラズマリアクタの2つのチャンバ本体の間のジョイントであって、  
前記2つのチャンバ本体のほぼ軸方向に延びるアウターリムと、前記アウターリムから前記第1のリムと前記第2のリムとの間へ半径方向内側へ延びるインナーリップ

とを含み、前記第1のリムと前記第2のリムとの間に嵌合可能なシールリングと、  
前記インナーリップと、前記第1と第2のリムとの間へそれぞれ配設された第1と第2の弾性パッドと、  
を含むジョイント。

【請求項47】 前記弾性パッドの各々と、前記シールリングのアウトーリムとの間のそれぞれのスペースへ配設された2つの環状弾性シール部材をさらに備える請求項46に記載のジョイント。

【請求項48】 前記シーリングのリムは、弾性かつ導電性であり、前記シーリングリムの前記アウトーリムはその半径方向内側に形成され前記第1チャンバ本体に面する環状溝を含み、前記溝に嵌合し前記第1チャンバ本体に接触する弾性導電部材をさらに含む請求項46に記載のジョイント。

【請求項49】 前記弾性導電部材は、チューブ状金属体からなる請求項48に記載のジョイント。

【請求項50】 前記チューブ状金属体は、スパイラル形に巻かれた金属帯からなる請求項49に記載のジョイント。

【請求項51】 前記シールリング内に形成された流体冷却溝をさらに含む請求項46に記載のジョイント。

【請求項52】 円錐形壁を有するチャンバ用のヒーターであって、  
前記円錐形壁の大部分の周りに可撓性をもって装着可能な扇形の本体と、  
前記本体に埋め込まれ前記扇形の面に沿って蛇行経路で配線されたワイヤーを持つ抵抗ヒーターと、  
を備えるヒーター。

【請求項53】 前記本体は、前記抵抗ヒーターを挟む2枚のシートを備える請求項52に記載のヒーター。

【請求項54】 前記蛇行経路は、前記扇形の径線にほぼ平行な直線部分と、前記直線部分と前記扇形部分の弧線の間配設されて前記直線部分を接続する屈曲部分とを含む請求項52に記載のヒーター。

【請求項55】 基板処理位置に面する内面と、前記内面に対向する外面とを有し、中心垂直軸に対してほぼ対称な側壁を有するチャンバと、

前記外面に密に熱接触し、その配線パターンは、前記中心垂直軸に対してほぼ同じ傾斜角で配線された一連の長手方向セクションを有する蛇行経路をたどり、各長手方向セクションは、隣接する長手方向セクションと横方向スタブ接続部を介して上下の交互パターンで接続されている加熱体を有するサーマルヒーターと、

前記側壁の前記外面近傍で前記サーマルヒーターの外側の前記上下の横方向スタブ接続部の間に配設されており、前記真空処理チャンバの前記中心垂直軸の周りに、前記横方向スタブ接続部方向に略平行で前記加熱体の前記長手方向セクションに直角に配線されているワイヤーを有する誘導コイルと、

を備えるプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項56】 前記側壁が円錐形である請求項55に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項57】 前記誘導コイルが円錐形である請求項56に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項58】 前記誘導コイルが円錐形である請求項55に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項59】 前記長手方向セクションが、前記中心垂直軸を含むそれぞれの平面のみに沿って延在する請求項55に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項60】 前記側壁が円筒形である請求項55に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項61】 前記真空処理チャンバの前記側壁がポリシリコン材料製である請求項55に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項62】 前記真空処理チャンバの前記側壁がシリコンカーバイド材料製である請求項55に記載のプラズマ真空処理チャンバ。

【請求項63】 基板支持用ベDESTALと、  
前記ベDESTALの上方に横たわる真空チャンバのルーフと、

前記ルーフ上の第1のほぼ平坦な領域内に配置された環状加熱体と、

前記ルーフ上の第2のほぼ平坦な領域内に配置された誘導コイルと、  
を備えるプラズマリアクタ。

【請求項64】 前記環状加熱体が、前記誘導コイルの半径方向外側に配設される請求項63に記載のプラズマリアクタ。

【請求項65】 前記誘導コイルの半径方向外側で前記ルーフ上に配設される内部を貫通する流体通路を有する略環状の冷却部材をさらに含む請求項64に記載のプラズマリアクタ。

【請求項66】 シリコン含有材料で構成され、真空処理チャンバ内の基板処理位置に面する第1面と、前記第1面に対向する第2面とを有する真空処理チャンバの側壁を用意するステップと、

配線パターンの主方向が大部分が相互にほぼ平行に走る往復パターンであって、前記チャンバ内の基板処理位置からのプラズマから受ける熱エネルギー入力にほぼ等しい熱エネルギーを前記側壁へ供給するようなサイズに設定された加熱体を有する加熱部材を前記側壁の第2面側に熱接触させて配置するステップと、

前記チャンバ側壁と前記加熱部材とを囲む構成で、前記加熱体部分にほぼ垂直で相互にほぼ平行に走り、通電されると前記基板処理位置のガスを誘導してプラズマを形成するように配設置されたワイヤーを有する誘導コイルを用意するステップと、

前記側壁の一端に隣接して、前記側壁との接続は両者間に伝熱性と導電性を備えるよう設けられ、内部を流通す

る熱伝達流体との間に熱エネルギー伝達が行われる冷却流体通路を有する冷却リングを用意するステップと、前記冷却流体通路に連続的に熱伝達流体を流すステップと、

前記プラズマ処理チャンバ内のプラズマの存在と逆の関係で前記加熱体へ電力を供給して前記側壁の温度を維持するステップと、

を有するプラズマ真空処理チャンバの壁温制御方法。

【請求項67】前記温度維持ステップは、前記処理チャンバ内にプラズマが存在するとき前記加熱体に電力を供給せず、前記処理チャンバ内にプラズマが存在しないとき前記加熱体に電力を供給する請求項66に記載の壁温制御方法。

【請求項68】チャンバ側壁を提供するステップと、前記側壁の周りに前記チャンバの中心軸の周りに直角に巻き付けられたワイヤーからなる誘導コイルを提供するステップと、

前記コイルと前記側壁との間に、その大部分が前記チャンバの前記中心垂直軸にはほぼ平行で前記コイル内の前記ワイヤーに直角に走る加熱体を提供するステップと、  
を備える処理チャンバの側壁温度維持方法。

【請求項69】内部にウェーハが配設される反応チャンバの円錐壁を介してエネルギーを誘導結合するステップと、

前記円錐壁に電圧を印加するステップと、  
前記円錐壁の温度をモニターし、それに応答して前記壁の温度を所定範囲に維持するステップと、  
前記反応チャンバ内へエッチングガスを供給するステップと、

を有するウェーハエッチング方法。

【請求項70】前記エッチングガスはフルオロカーボンであり、前記ウェーハに対向して配置される炭素あるいは珪素を含む素材製の電極をさらに備える請求項69に記載のエッチング方法。

【請求項71】前記円錐壁は、ポリシリコン製またはシリコンカーバイド製のいずれかである請求項70に記載のエッチング方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体集積回路の製造および類似プロセスのための装置に関する。特に本発明は、チャンバ形状と、半導体処理のための反応チャンバの加熱および冷却と、チャンバ内に電気的な誘導及び容量効果を同時に与える間、プロセスにさらされるチャンバ表面の温度制御に関する。

【0002】

【従来の技術】シリコン集積回路の製造は元来、材料層の堆積および後続のパターン構造を形成するエッチングの両方の熱活性プロセスに基づいている。その熱プロセスにおいて、堆積の均一性は当該プロセスにさらされる

表面温度に依存し、その温度変動はプロセスの速度に変動をもたらす。そのような温度依存性はプロセスの再現性を損なう。パターン形状がより複雑かつ小さくなったため、ますます多くの半導体処理がプラズマ反応チャンバで行われている。平衡熱よりはむしろプラズマが、各種の化学プロセスおよび物理プロセス（スパッター堆積およびスパッタークリーニング）に必要な活性化エネルギーを供給する一方、シリコンウェーハを適当な温度に維持し、熱による有害な副次作用を回避する。すなわち、最高温度と積算温度分布という両方の温度に関する悪影響を発生させずに、製造ステップ数を増やして行うことができる。

【0003】初期のプラズマリアクタの中には、特に単一ウェーハのエッチングと化学蒸着（CVD）用のリアクタには、図1に示すリアクタに似ているものがある。ウェーハ50は、接地された金属壁55を有する真空チャンバ54に封入されたベDESTAL52上に支持されている。チャンバ54の内部に供給されるガスのプラズマを励起するため、RF電源56がベDESTAL52に接続されている。接地されたチャンバ壁55は、ベDESTAL52の対向電極として機能する。プラズマによって励起されたガスはウェーハ50に作用し、それをエッチングしたり、あるいはプラズマ励起反応の生成物をその上に堆積させる。ベDESTAL50とチャンバ壁55は、容量結合するRFエネルギーをプラズマ内へ印加する二つの電極として機能する。

【0004】この構造によって、RF駆動ベDESTAL50がカソードとして機能し、大きな、接地されたチャンバ壁55がアノードとして機能するようになる。リーが「エッチング」チャンセル編ULSIテクノロジー（マグローヒル社、1996年）330～333頁において論じているように、ベDESTAL50は、接地壁55に対して次式の強度の負のDC電位 $V_a$ を生じる。

【0005】

【数1】

$$\frac{V_c}{V_p} = 1 - \left( \frac{A_s}{A_c} \right)^4 \quad (1)$$

ここで $V_p$ は通常はプラス100ボルトオーダー以下のプラズマ電位、 $A_s$ はプラズマに隣接するチャンバ壁55の表面積、そして $A_c$ はベDESTAL50の上面の表面積である。RF電力が印加されるカソード52が小さく、接地アノード54が大きい図1の普通のケースにおいては、面積比がかなり大きく、DCプラズマ電圧が常にプラスなので、カソード電圧 $V_c$ はマイナスとなる。従って（1）式は以下のように簡略化できる。

【0006】

【数2】

$$\frac{V_c}{V_p} \approx \left( \frac{A_s}{A_c} \right)^4 \quad (2)$$

従って、プラズマを取り囲んでいる大きな接地チャンバ壁により、ベDESTAL50上の電圧 $V_c$ は、プラズマとチャンバ壁55の両方に対する電圧差がマイナス数百ボルトになり、有意なダイオード効果を生じて、プラズマ中の陽イオンを高エネルギーでベDESTAL50上のウェーハに衝突させる。

【0007】ウェーハの寸法が大きくなり、均一性に対する要求が厳しくなるにつれて、チャンバ形状はより平たくなってきた。その例は、ワン他のCVDチャンバに関する米国特許第4,892,753号、およびオグルのエッチングチャンバに関する米国特許第4,948,458号にみられる。図2に示したように、対向電極58は、ベDESTAL52とそれに支持されたウェーハ50とに対向して、ウェーハ50の直径よりはるかに小さいギャップを隔てて配置されている。例えば、200mmのウェーハについては、このギャップは数センチメートルでよい。この対向電極58は普通、エッチング用途には接地される一方、CVD用にはRF電力の位相を逆転させて印加するのが普通である。しばしばこの対向電極58は、ウェーハ50に隣接する反応ゾーンへ反応ガスを均一に供給するためのシャワーヘッドガスディスペンサーを含む。この設計において、チャンバ54の壁は通常は接地するが、プラズマ反応と化学反応における重要度は低い。

【0008】チャップマンは、「グロー放電プロセス」、スパッタリングとプラズマエッチング（ウィリー・インターサイエンス社、1990年）156～171頁において、対称構造のシース電圧について論じている。彼はまた、接地されたカソードを想定しない(1)式をさらに一般化した次式を紹介している。

【0009】

【数3】

$$\frac{V_p - V_1}{V_p - V_2} = \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^4 \quad (3)$$

ここで $V_1$ と $A_1$ は第1電極のDC自己バイアスと面積、 $V_2$ と $A_2$ は第2電極のDC自己バイアスと面積である。

【0010】オグル他の米国特許第4,871,421号の教示によれば、RF電力を接地チャンバ壁54に対して、ベDESTAL52と対向電極58間で50:50の比に分割すると、チャンバ壁へのアーク発生を防ぐという利点が得られる。オグルの引例において、図1に示したような、対向電極とベDESTAL電極のサイズが大幅に異なる例が認められる。このような電極サイズの差異は、RF電力を分割してもなお上記のダイオード効果を生じる。さらに、大きさが異なる電極は、高エネルギー荷電イオンをプラズマのシースを横切って放出させ、純

粋な化学活性化でなく、物理的スパッタリング（イオンエッチング）を増大させることになる。

【0011】プラズマ反応チャンバの最近の開発の方向は、大量のRFエネルギーで通常 $10^{11} \text{ cm}^3$ を超える極めて高いイオン密度を有するプラズマを生成する高密度プラズマ（HDP）リアクタに向けられて来ている。HDP反応チャンバは、いくつかの利点の他に高い堆積およびエッチング速度をもたらす。HDP反応チャンバにはいくつかのタイプがあるが、最もポピュラーなものは、RFエネルギーをソースプラズマへ誘導結合するものである。誘導結合プラズマ反応チャンバは大きく3つのタイプに分けることができる。

【0012】第一のタイプは、図3に示したように、普通は石英からなる誘電体側壁62の周りに巻き付けられてRF電源64から電力を供給されるヘリカルコイル60を含む。ベDESTAL52は、それ自体のRF電源56に連結されている。酸化物エッチング用には、対向電極66は接地され、エッチングを行うフルオロカーボンガスからフッ素を掃気するためシリコンで構成されている。このアプローチは、コリンズ他により、米国特許第5,556,501号およびヨーロッパ特許出願第552,491A1号に概略的に記載されており、ライス他は米国特許第5,477,975号に具体的実施例を記載している。彼らの具体的実施例を図7と図8を参照して後で詳細に説明する。ヘリカルコイルを含む彼らの構成は、必然的にプラズマ領域の側部を取り囲む壁のサイズを増加させてしまう。その結果、間隔の狭い容量電極を持つリアクタと異なり、壁の相互作用がプラズマの形成にとっても堆積またはエッチングの化学作用にとっても重要になる。

【0013】誘導結合プラズマリアクタチャンバの第2のタイプは、図4に示したように、ウェーハ50に近接して平行に平面状の誘電体上部壁72の外側に置かれる平面状の、しばしばパンケーキコイルまたはストロップコイルと呼ばれる、スパイラルコイル70を含む。このパンケーキコイル70は、同様にRF電源64から電力を供給され、チャンバプラズマへ誘導結合電力を加える。プロセス制御のため、ベDESTAL52をRFバイアスしてもよい。図4の狭いスペース構成において、普通は導体であって接地されているチャンバ壁74は、プラズマとその化学作用から効果的に分離される。というのは、狭い間隔で配置された平面状コイル70とベDESTAL52に比べてそれらは離れており、サイズも小さいからである。パンケーキコイルの例は、オグルの前述の特許やマックス他のヨーロッパ特許出願第601,468-A1号において開示されている。

【0014】誘導結合プラズマリアクタチャンバの第3のタイプは、図5に示したように、ウェーハ50の上方に位置する半球状の誘電体ドーム80を含む。二重凹状ドーム80の形状に合わせた凹状のスパイラル誘導コイ

## 11

ル82がRF電源64に接続され、半球形ドームの形状に沿って密着している。図から分かるように、図5の半球形は、図3の円筒形と図4の平板形の中間である。ベンジン他が米国特許第5,346,578号と第5,405,480号で半球状コイルを、またサーヒン他が、ヨーロッパ特許出願第680,072A2号でこれに類似しているが径方向に多曲面を有するCVDリアクタを開示している。

【0015】これらすべてのチャンバ形状には、それぞれ長所と短所がある。これら種々の実施例の誘導結合は、励起されたプラズマを含む反応チャンバの一部の内部にあるRF磁界を誘導するよう、それぞれRF電源によって駆動されるコイル60、70、82に依存することに注目すべきである。このRF磁界はファラデーの誘導法則に従って、下記の直交電界を誘導する。

【0016】

【数4】

$$\frac{\partial B}{\partial t} = -\nabla \times E \quad (4)$$

その結果、円筒形および二重凹状ドームの場合、通例少なくとも部分的にチャンバ軸方向に在る振動磁界は、プラズマ内に、回転電界、すなわち軸方向磁界の周りに延在する電界ループと、自己閉鎖電界とを生じる。これは、ほぼ円筒形をした円形であるので、方位角電界とも呼ばれる。プラズマ内において回転電界線に沿って回転している電子は、プラズマイオンと衝突して、プラズマを励起状態に保つ。

【0017】自由空間において、図3のソレノイド巻(円筒状)コイル60は、比較的大きなウェーハ50上の均一なエッチングまたは堆積に望ましい軸方向磁界を提供する。しかし、RF磁界によって生成されるプラズマは、特に、高いチャンバ圧力の場合に、円筒形チャンバ62内のプラズマ内部を効果的に遮蔽する。その結果、図3の円筒形のプラズマ密度は中心で低下する傾向がある。図4の平面状のパンケーキコイル70は、この問題を、円筒形チャンバの半径全部にわたってRF磁界を誘導することによって、回避する可能性がある。このパンケーキコイルは平面均一性に関しいくつかの利点を提供する一方、パンケーキコイルによって成形される磁力線はそれ自体の上で閉じなければならないので、誘導結合にとって困難な構造を有し、特に中心近傍において不利な電磁的構成となる。

【0018】図5に示した曲面ドーム構成を含む第3のタイプの誘導結合は、最初の二つのタイプの利点を併せ持つものである。図5の半球状コイル82は、他の二つのアプローチの利点を結合しようとするものである。この構造は、電磁的に有利なヘリカルコイルに似ているが、かなりの量の電力がウェーハの中心部上方のプラズマに結合される。また、密接するコイル82によって励起される核種の拡散が重要である範囲において、ウェー

## 12

ハ50のすべての部分はコイル82から略等距離にある。サーヒン他は、前述の出願においてドーム用の多数半径曲面を示唆しているが、これは均一性をさらに改善するのに利用できる。しかし図5の曲線ドームは優れた処理能力を提供する一方、いくつかの機械的問題も持っている。曲線ドームは鋳造でも機械加工でも製作が困難である。さらに、このドームにおいては、ドーム内に密着する加熱体と冷却体によってその温度を制御する必要がある。不都合なことに、ドームと熱制御部との間の熱膨張差によって二次元曲面上の両者間の効果的な熱接触が分断される傾向がある。さらに、純然たるドームは機械的には強いが、サーヒン他に見られるように、切頭ドームの頂部に平面状の対向電極を備えることが望ましい場合もある。その結果できる切頭曲面ドームは構造的に弱く、200mmおよび300mmのウェーハを収容するのに必要とされる大型真空チャンバにとって構造上の完全性がますます重要になりつつある。

【0019】コリンズ他は、1996年5月13日出願の米国特許出願第08/648,254号において、円錐形スパイラルコイルの使用を示唆したが、円錐の底部がチャンバの平坦なルーフに隣接して置かれているため、スパイラルコイルの大部分がチャンバから大きく離れる結果となり、そのためプラズマへのRF結合が減少してしまう。

【0020】誘導コイルに近い、誘導結合されたプラズマチャンバ部分は、従来技術では石英で作られるのが普通である。金属(導電性)の壁は一般的に、コイルがチャンバ内へ結合させる磁界を通過させるが、式(4)で求まる循環RF電流がプラズマ内と同様に金属壁内に発生する。このような理由で、チャンバ壁は誘電体(電気絶縁)材料で作られるのが普通である。

【0021】石英は、プラズマリアクタ、特に半導体処理装置の壁として常に人気があった。石英は極めて純粋な状態で作ることができる。その化学的組成は基本的にシリカ(SiO<sub>2</sub>)であって、通常はシリコン処理と適合性がある。その他普通に入手可能なセラミック材料、例えばアルミナ(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)または焼結シリコンカーバイド(SiC)は、シリコンの化学作用と半導体特性に対する不確定効果を持つ元素を含むのが普通である。

【0022】

【発明が解決しようとする課題】しかし石英は、最近のプラズマリアクタ、特に半導体産業用酸化エッチャーにおいて問題をひきおこす。酸化エッチャーは処理基板の絶縁層、特にSiO<sub>2</sub>層をエッチングする必要がある。その結果、処理ウェーハを効果的にエッチングする化学作用そのものがまた、石英壁をもエッチングする。さらに、石英は母材内で結合された小さな晶子からできているので、エッチングされるとき汚染物質になりやすい。石英がエッチングされると、エッチングは晶子間の局部領域において促進される傾向があり、エッチングさ

れない晶子の根元を切り取り、これが母材から分離して微粒子となって、最終的にウェーハ上に定着する。粒子汚染は、集積回路の回路寸法が小さくなるにつれて、また回路要素数が増えるにつれてその問題が大きくなる。

【0023】高度の集積回路のエッチング、特に酸化物エッチングには、多くの厳しい要件がある。酸化物層を貫いてエッチングされるバイアやコンタクトは狭く深くする必要があり、アスペクト比は1:1を超え、時には5:1以上になる。シリコン上のシリカには高い異方性の極めて選択的なエッチングが要求される。酸化物層が貫通エッチングされるや否やエッチングを停止するために、薄い層のエッチングは、下層シリコンに対して極めて選択的であることが要件である。ウェーハのサイズの増加は、ウェーハ上のエッチングの均一性の問題を大きくした。

【0024】コリンズ他は、前述のヨーロッパ出願において、フルオロカーボンプラズマからフッ素を掃気するため、ウェーハ上に配置されたシリコン含有対向電極と組み合わせて、 $CF_4$ 、 $C_2F_6$ 、または $C_3F_8$ 等のフルオロカーボンエッチングガス、あるいは $CHF_3$ のようなハイドロフルオロカーボンを用いて、所望の選択性が得られることを開示している。このプロセスはポリマーをシリコン上に堆積させるが、二酸化シリコン上には堆積させない。従って、シリコンは露出した際のエッチングから保護される。シリカを貫くバイアの壁の上への同様な分離ポリマー堆積がほぼ垂直な側壁を形成する。ライズが米国特許第5,477,975号と1995年9月5日出願の米国特許出願第08/524,135号において仮定したように、そのプロセスは、関連する多くのプロセス要因のうち、ウェーハのみならずシリコン対向電極やその他のチャンバ部品の温度への依存性を含む。

【0025】反応速度はほぼ温度のべき乗で変化し、通常 $T^2$ から $T^3$ の範囲にあり、選択エッチングの空間的に差のある反応プロセスにおける、温度の変動により、種々のパーツ上のエッチングと堆積と間のプロセスを駆動することができる。例えば、始業時または定期点検後、チャンバが最初にオンにされるとき、始動効果が観察される。図6の曲線90は、二酸化シリコンのエッチング速度を、曲線92はフォトレジストの対応するエッチング速度を、ともに処理開始後の処理ウェーハの枚数の関数として示す。ウェーハの枚数の増加とともに酸化物エッチング速度が増加する一方、フォトレジストエッチング速度は減少する。約25枚のウェーハを処理した後によりやく、これらの率は定常状態値に近づく。この変動は、プラズマ処理によって発生するチャンバ内部のコンポーネントの温度上昇を反映したものであると考えられる。当日の第一回目の操業にダミーウェーハを用いればこの効果を回避できるが、スループットはかなり減少する。また、小規模の装置故障による処理の中断や、ウェ

ーハが直ちに入手できない場合、小規模の温度変動も発生し得る。従って、チャンバの多くの部分の温度を厳密に制御しなければならない。壁温やコンポーネント温度を制御するための設計が過去に試みられているが、これらの設計には改良の余地がある。

【0026】さらに、石英には基本的な材料としての問題がある。セラミックの熱伝導率は普通 $0.5W/m^{\circ}C$ 程度と低い。たとえ温度制御体（ヒーター/クーラー）を石英チャンバ壁の外部に設けても、反応チャンバに面する側壁の温度制御は不十分である。この問題は、図3の円筒形デザイン構造によって悪化する。この構造の詳細な実施例を、図7の断面図と図8の詳細断面図に示す。円筒形チャンバ壁100は、この場合ソレノイド巻RFコイル104を備えた円筒形温度制御ジャケット102によって取り囲まれている。円筒形チャンバ壁100は、普通はアルミニウムを機械加工した塊状体である下部チャンバ106上に載置され、円筒形チャンバ壁100の上部は、酸化物エッチングに望ましい従来技術のポリシリコン製のルーフ108を支持している。RFコネクタ110が、RF電力をルーフ108に供給する。ヒータープレート112がルーフ108の頂部に押し付けられており、2個の電気コネクタ114、116を介して通電されるスパイラル巻抵抗ヒーターを含む。冷却集合体がヒータープレート112の頂部に押し付けられており、冷却水などの冷却流体用にその中に形成された少なくとも一つのスパイラル溝120を持つ冷却プレート118を含む。カバープレート122が溝120を覆ってシールする。

【0027】図8を参照すると、特にRFコイル104に通電されていない場合、ジャケット102とチャンバ壁100を選択的に加熱するよう、ジャケット102の底部の溝124に環状抵抗ヒーター122が埋め込まれている。

【0028】チャンバ壁100と熱ジャケット102が組立てられると、両者間に組立ギャップ126が形成される。この組立ギャップ126は、組立の際に両部品をスライドさせる必要があることと、両部品100、102間には避けられない熱膨張差があること、の二つの理由により必要である。この組立ギャップ126がないと、組立手順が複雑になり、一旦組立てられると、かなりの温度差のもとで互を押しつぶし合うことになる。この組立ギャップ126は、導体材料中の熱伝導に比べて、熱エネルギーの伝達が十分でない領域を形成する。熱伝達速度は、ギャップ126の大きさとギャップ126内のガス圧に依存する。すなわち、熱膨張によってギャップの大きさが変動すると、その結果ギャップを通過する熱伝達速度が変化する。さらに、円筒形のコンポーネント間のギャップの分布は、それらの不可避の非対称性により、円筒形周りに均等ではなく、一方が他方より小さい。このギャップの変動は、隣接するギャップの大



きさに依存して円筒体同士間の熱伝達速度を変動させる。従って、壁の周囲の各位置における熱伝達速度は隣接するギャップのサイズによって異なる。さらに、円筒形チャンバ壁は、熱の不良導体である石英から作られるのが普通であった。これらの変動のため、この構成で従来技術の温度制御モードを用いると、小さい温度範囲において正確な温度制御が要求される場合、効果的でない。

【0029】図7の円筒形チャンバは、結果的に図9の一般的な形状となり、円筒形側壁124とトップ126の直径は略同一となる。ウェーハ領域128の直径は、チャンバ側壁124とそのトップ126の直径より小さくなければならない。円筒形側壁124はトップ126の真空負荷重量の支持に適しているが、300mmのウェーハのような大型基板用に、トップ126が、より大きなスパンにわたって延在すると、極端に厚く作らない限りトップは内側へ屈曲しがちである。

【0030】過去、チャンバコンポーネントを交換すると、コールドスタート現象の他に、プロセスをそのベースラインプロセス性能に戻すため追加のウェーハサイクルが必要であった。新しいパーツが最終的な効果を発揮するためには、それらパーツに多少の調整が必要であると思われる。新しいコンポーネントインターフェイスを持つ新しいコンポーネントによる温度不安定性が、少なくとも部分的に、プロセスのドリフトをなくし、プロセスをベースライン性能基準に戻すために追加のサーマルサイクルを必要とする原因となっている。

【0031】本発明は、上記の問題点に鑑みて、正確な温度制御が可能なプラズマ反応チャンバを提供することを課題とする。

#### 【0032】

【課題を解決するための手段】本発明は、特に半導体集積回路の製造、さらに酸化物エッチングに適したプラズマ反応チャンバである。このチャンバは、ウェーハの上方と周囲に位置する円錐形ドーム形のチャンバ壁がその一つであるいくつかの関連発明を含む。一実施形態においてチャンバ壁の外側円錐面は、これの周囲の熱制御リングの傾斜内面に接合する。このサーマルリングは円錐形チャンバ壁の外側に載っているが、両者間に摺動熱境界面をなすように、その外側に押しつけられるような形状とすることができる。このような構造においては、壁とサーマルリングの間の熱膨張差は、両者の境界面の円錐角に沿って滑りを発生させ、それによって温度差または膨張差にかかわらず熱接触を維持する。円錐形に編成したRF誘導コイルを円錐壁面に巻き付けるか、あるいは平面またはソレノイド巻のRFコイルをチャンバの頂部に巻き付けることができる。いずれかの配置を用いてチャンバ内に電界を発生させて、プラズマを誘導することができ、この電界がウェーハの中心部分を越えて延びるように調整してプラズマ処理の均一性を改善するこ

とができる。

【0033】上記構成のチャンバのルーフは、誘電体で作ることができ、あるいは容量結合編成において電極として作用する平坦面を提供する導体または半導体として作用する材料で作ることができる。ペデスタルは別の板であって、それを通して容量結合が行われる。このルーフをカーボンまたはシリコンを含有する材料で作ると、誘電体エッチングに有効である。

【0034】チャンバ壁材料の固有抵抗を調節して、電界をこの材料（例えばポリシリコンまたはシリコンカーバイド）中に効果的に貫通させ、処理チャンバ内にプラズマを効果的に誘導することができる。

【0035】サーマルリングは、加熱体、冷却体、または電界誘導体を含むことができる。これらは単体、または任意の利用可能な組合せとすることができる。複数の要素の精密な温度制御により、プロセス制御と均一性を改善することができる。

【0036】ある構造においては、チャンバ壁用加熱体は、チャンバの円錐外壁に隣接している。加熱体のワイヤー配置は蛇行パターンであって、ほぼ垂直になる円錐台の頂点と基部を結ぶ複数の線の一本一本に沿った上がり下がりパターンで配線されている。RF磁界とそれによる電界を発生させて、チャンバ内にプラズマを誘導する誘導コイルは、加熱体の周りに水平に巻き付けられ、そのためコイル導体は、ヒーター内の加熱体のワイヤーの支配的な配線方向に対してほぼ直交する。直交するワイヤーは、ファラディシールドを生成して誘導コイルの容量効果からチャンバを遮蔽する一方、プラズマ内に効率的に電界を誘導する。層状構造においては、誘導コイルは内側の加熱体と外側の冷却体との間に配置される。熱伝導性誘電体部材が誘導コイルを支持し、熱伝達を容易にして、サーマルリング内のチャンバ壁の温度を上昇または下降させる。加熱体、誘導コイル、および冷却体の次第に径が拡大する層は、分離構造または接着一体サンドイッチ構造のいずれでもよい。

【0037】この円錐構造では、前記加熱体を平坦な可撓性の平面シート状に製作し、次にそれで円錐面を包み込むようにすることができる。

【0038】円錐形の誘導コイルの巻線に包まれた円錐形チャンバ壁を用いると、コイル頂部の巻線は、円筒形コイルの場合よりもチャンバの中心に近くなる。頂部巻線がチャンバの中心に近いと、チャンバ全体にわたって堆積の均一性が改善され、周囲誘導コイルのみを用いた場合にチャンバの中心において見られる電界強度の低下が解消される傾向がある。

【0039】本発明によるチャンバ壁は、処理チャンバ壁の温度変動を減少させ、過去においてプロセスの再現性に悪影響を及ぼしていた望ましくない効果を排除する。

【0040】本発明によるチャンバは、円錐形誘導コイ

## 1.7

ルを有する円錐形外壁を備えるチャンバ壁を含む。チャンバの円錐部分には真円錐の錐台があり、この真円錐の錐台の上端には、対向電極が掛け渡され、対向電極の面積は、対抗電極に面してそのほぼ反対側に配置された基板の表面積にほぼ等しい。ヘリカルワイヤーコイルは、基板処理位置と中心合わせすることができる。ルーフ部材は壁の円錐部分と一体化することができる。壁とルーフ構造に適する材料は、良好な熱伝達特性、誘電特性、および処理チャンバ環境に対する耐化学性を持つものとする。使用可能な材料には、ポリシリコンとシリコンカーバイドが含まれる。

【0041】円錐形コイル巻線は次第に径が拡大し、そのピッチは一定または可変である。平坦なパンケーキコイルをチャンバのルーフに備えるか、あるいは垂直円筒（ソレノイドのような）コイルを備えることもできる。ルーフコイルはチャンバ内に誘導される電界の均一性を高める。処理チャンバ壁に隣接する円錐巻線は、チャンバのルーフに配置されるコイルに並列または直列に配置することができる。円錐形コイルはスパイラル形円錐傾斜を持つ巻線ジグで容易に巻き付けることができる。コイル電力調節回路を備えて、各コイルの効果を設定することができる。

【0042】本発明は、外壁面へ熱的に密着したサーマルヒーターを含むことができ、このサーマルヒーターの加熱体によって形成されるパターンは蛇行経路であって、好ましくは、相互に略平行に配置された複数の一連の長手方向部分を持ち、各部分はそれぞれヒーターの中心鉛直軸と一つの長手方向部分の両方を含む一連の複数の平面の一つにほぼ一致する。ヒーターの各長手方向部分の中心体は、上部と底部に交互に設けられた横方向スタブ接続部を介して、隣接する長手方向部分に接続され、加熱体の長手方向部分は、横方向スタブ接続部よりはるかに長い。この構成による誘導コイルは、側壁の外壁面に近接してサーマルヒーターの外側に配置され、その結果コイルの巻線は真空処理チャンバの中心垂直軸の周りに配線され、横方向スタブ接続部の方向に対して略平行で加熱体の長手方向部分に対して垂直になっている。側壁および／または誘導コイルは、垂直または円錐形に形成することができる。シリコン化合物で構成される側壁の全熱伝導率は、二酸化珪素（石英）または窒化珪素、例えばポリシリコンまたはシリコンカーバイドから作られる同様な構成の側壁よりも大きい。

【0043】ある構造において、この誘導コイルは、チャンバ壁の外壁面と誘電体部材の内面の間に熱伝達用の面接触を提供するように構成された円錐形の内面を持つ熱伝導誘電体部材の中に収容することができる。チャンバ壁の外壁面と誘電体部材の内側円錐面との摺動によって、チャンバ壁と誘電体部材の間の温度変化と温度差による動きを吸収する。誘電体部材は、前記部材と前記側壁を加熱するため、誘導コイルの外側または内側に配

## 1.8

置される加熱体を含むことができる。加熱体は、熱伝達接続を介して内側の円錐形リング部材に固定され得る誘電体部材の外側円錐形リング部分中に埋め込むことができる。冷却リングを誘電体部材と熱接触するようにその外壁面に取付けることができる。冷却リングは、熱伝達流体を内部に流通させるための冷却流体通路を有する。この冷却リングを側壁の一端に隣接配置することができる。

【0044】本発明による温度制御方法は、真空処理チャンバの側壁に円錐形外壁を備えるステップと、チャンバ壁の外側円錐面と摺動係合する円錐形内面を熱源リングに備えるステップとを含む。追加ステップとして、側壁の第2面に熱接触するよう加熱部材を配置するステップと、加熱体の配線パターンの主配向を、そのパターンの大部分が相互に略平行に走る往復パターンで配線するステップと、さらに追加のステップとして、チャンバ壁と加熱部材を取り囲む構成で誘導コイルを備えるステップを含み、この誘導コイル巻線のワイヤーは、相互に略平行に走る加熱体部分に対して略直角に走るように構成されている。この方法はさらに、側壁の一端に隣接配置される冷却リングを備えるステップを含むことができる。側壁と冷却リングの間に接続ができると、両者間に伝熱性および導電性が提供される。

【0045】処理チャンバの側壁温度維持方法は、チャンバ側壁を準備するステップと、側壁の周りに、チャンバの中心軸の周りにそれに対して直角にワイヤーを巻いて誘導コイルを準備するステップと、コイルと側壁の間に大部分がチャンバの中心軸に対して略平行でコイル中のワイヤーに対してほぼ直角に走る加熱体を設けるステップと、を含む。

【0046】本発明による方法はさらに、チャンバの熱伝導側壁への熱エネルギーの供給源を設けるステップと、それと同時に、チャンバの側壁に接続されるヒートシンクを設けるステップと、側壁温度を略設定温度に制御するため熱エネルギーの供給及び除去を変化させるステップと、を含む。この方法はさらに、処理チャンバ内のガスにプラズマを形成させるため、チャンバ壁を貫く誘導電界を同時に供給するステップを含む。側壁の加熱は側壁に密着配置されるフレキシブルヒーターによって、また冷却は、冷却リングによって行うことができる。これは、側壁の下端、加熱体の後ろ、側壁の上端、または側壁の上端と下端の両方あるいは冷却リング位置の他の任意の同様な組合せの、いずれかに配置することができる。

【0047】本発明による構造と方法は、製造が容易でプロセス環境において良好に機能する材料の幾何学的構造を用いることにより、プロセスの再現性を高めるチャンバ内におけるさらに正確な温度制御を提供する。材料の選択によって、プロセスパラメータの温度的局面をプラスマイナス摂氏5度ないし20度の範囲に設定しかつ

繰り返すために必要な温度性能を維持しつつ抵抗率変更のためのオプションを提供する。

#### 【0048】

【発明の実施の形態】本発明によるいくつかの構成は、チャンバ内のプラズマへのRFエネルギーの誘導結合と、処理チャンバの壁温を取り囲むサーマルリングを介して加熱及び冷却することによる制御の両方を補助する共通の特徴を含む。壁の円錐状構造は、良好な熱接触を確保し、従来技術の設計で存在したエアギャップをなくす。特別に選んだ材料を用いると、処理チャンバ壁内の温度勾配によるプロセスの変動をほとんどなくすように良好な熱伝導性を与えつつ、処理チャンバ内のガスのプラズマ化を誘起するように電界を貫通させて処理チャンバの性能を改善することができる。円錐形の壁と円錐形誘導コイル巻線を併用すると、チャンバ内（特にチャンバ中心）における電界の変動を低減する一方、固定および可変ビッチコイル巻線を用いると、所望の電界の効果を微調整することができる。チャンバを取り囲む加熱体と、チャンバを取り囲む誘導コイルとの間に起こり得る電氣的干渉は、コイルの巻線を加熱体の配線方向に対して主として直角方向に配線することによってほとんど排除することができる。このチャンバ構造は、ほぼ同じサイズの両電極（ルーフとベDESTAL）が一体多目的チャンバ構造中に相互に平行に構成されたプロセス配置を提供する。円錐形の上部チャンバ構造は、一体とすることができ、容量結合と誘導結合のいずれにも可能である。

【0049】図10、11と12は、それぞれ、本発明によるエッチング処理チャンバの一実施形態の断面図、概略分解斜視図、および頂部の拡大断面図を示す。

【0050】チャンバの上部側壁部は、下部チャンバ106の側部から、処理ウェーハを支持するベDESTAL52の端部のほぼ上方の位置まで延在する円錐形ドーム130を含む。この円錐形ドーム130は、円錐形の、すなわち中心軸に対して点対称で中心軸に対して一定角度で傾斜する少なくとも一つの外面を持つ側壁を有する。この円錐形ドーム130は、その底部にウェーハ処理領域に向かって延びる大きなリムを持ち、その頂部にウェーハ処理領域から離れる方に向いた小さなリムを持つように編成されている。この円錐ドーム130は、円錐形内面と円錐形外面とを持つ側壁を持つが、これら内面と外面に加えて他の表面部分を持つことができる。すなわち、これら内面と外面はチャンバの中心垂直軸の周りに円対称であって、それらの直径は軸に沿って線形に変化する。特に、外側円錐面はいくつかの有用な利点を提供する。

【0051】円錐形ドーム130の底部のプラズマシールド132は、図11でよく分かるように、石英またはシリコンカーバイド製で断面はL字形であることが好ましい。そのL字形断面の底部レッグ134は、普通アル

ミニウム製である下部処理チャンバ106の上部フランジ開口上に支持されている。図示されていないオーリングがプラズマシールド132と下部チャンバ106を封止する。

【0052】プラズマシールド132のL形断面の上部円筒形レッグ136は、チャンバの内側で垂直上方へ伸びて、シールドの垂直レッグ136の半径方向外側の周囲に嵌合する底部シールリング138の前でバリアー（シールド）として作用する。この底部シールリング138は、アルミニウムなどの金属製が望ましく、プラズマシールド132の水平下部レッグ134の上面に支持され、そこへ封止される。

【0053】底部シールリング138は、図12からよく分かるように、内側へ延びるリップ140を含み、シールリング138の内側で環状の底部弾性支持パッド144の隣りに位置する底部オーリング142が押圧される。パッド144とオーリング142はともに、リップ144の底部にある下向きのシーリング溝146内に位置する。このオーリング142は、図11のプラズマシールド132の上面に対してシールリング138をシールする一方、例えばベスベルまたはカプトンのようなポリイミドシートからなる耐熱プラスチック製の底部弾性支持パッド144は、シールリング138とシールリングの上方のチャンバ部分の荷重を支持し、普通は石英のような脆い材料製のプラズマシールド132へその荷重を均等に配分する。この構成によって、応力集中を起しプラズマシールドを破壊する可能性のある部品間の点負荷を避ける。シールリング138の半径方向内側端上の下部シーリング溝保持リップ148が、下部弾性パッド144とその隣りに位置するオーリング142の、下向きシーリング溝146内における半径方向の滑りを防止する。前記内側へ延びるリップ140はその上面に、上部オーリング152ともう一つの環状弾性伝熱パッド154を収容する上向きの溝150を含む。下部保持リップ140から上に延びる上部保持リップ156が、上部弾性伝熱パッド154と上部オーリング152の内側への滑りを防止する。上部弾性伝熱パッド154はベスベルのような耐熱プラスチック製が望ましいが、リアクタ温度とその腐食環境次第では他の材料を用いてもよい。

【0054】上部弾性パッド154は円錐形チャンバ側壁（ドーム）130の底辺158を支持し、その内面は処理チャンバ内の基板処理場所52'（図10）に面している。円錐形側壁（ドーム）130は、一般に電気抵抗率は高いが、熱の良導体、特に石英または窒化珪素より大きい熱伝導率を持つ材料製であるのが望ましい。これらの一般的には相反する特性は、ポリシリコンなどのシリコン含有材料によってかなえられるが、残念なことに、このような材料は脆性破壊や微粒子発生を起こし易い。しかし以下に、これら用途にとって多くの利点有

するシリコンカーバイド複合材料について説明する。

【0055】上部弾性伝熱パッド154は、部品重量とチャンバ内の真空に起因し、またシールリング138上のドーム130によって印加される、機械的負荷の分配に役立ち、まさにプラズマシールド132のところで考察したのと同様に、点負荷による破壊を防止する。

【0056】シールリング138はまた、リップ140から垂直上方に延び、好ましくはOリング形の中空ばね部材である導電性弾性(ばね)部材166を内包するOリング型の内側溝162を持つ外壁フランジ160を含む。ばね部材166は、金属リボンを密なスパイラル巻きし、スパイラルの外側が全体とし丸い円筒形で、内部が中空のチューブとなるようにすることで形成することができる。スパイラル巻きは接触させる必要がないので、不連続チューブができる。できあがったチューブ状部材の両端を相互に結合または密着させてリングとする。外側からは、ばね部材166は、いくつかのスパイラルエッジ、溝、または開口部を持つOリングのように見える。ばね部材166の側面は、内側溝162の開口を越えて突出し、ドーム130とシールリング138の間のギャップ168を越えて電気的連続性を維持する連続ばね接触のコンプライアントセットとして作用する。ばね部材166のような部材の弾性(圧縮)範囲は、ドーム130の底部外側エッジ170とのギャップ168の大きさの変動を効果的に吸収する一方、それとの電気的接触を確保し続ける。後で述べるルー他によるSiC複合ドーム130は、プラズマに面する導体表面層と絶縁体とを含む。この表面層は、ドーム130の底部の周りから下部リムの外側を取り囲む環状タブへと続いている。このばね部材166は、環状タブに電気的に接触するように配置され、その結果円錐形ドーム130の内面が接地される。

【0057】いくつかの構成においては、シールリング138は破線172で示したようにさらに半径方向外側へ延びる。延長されたシールリング172は、環状冷却通路174と、延長シールリング172に対して封止する閉鎖プレート176のためのスペースを提供する。そして、シールリング138の周囲を加熱および/または冷却するため冷却通路174内を循環する熱輸送流体が収容されている。自動コントローラの制御下にあるポンプ173が、例えば水などの冷却流体を選択的に冷却通路174へ供給する。

【0058】円錐形ドーム130と、シールリング138の間に位置する上部弾性サーマルパッド154は、円錐形ドーム130の下端158と下部シールリング138との間に熱伝導ブリッジを提供し、これによって熱エネルギーは、ドーム130と底部シールリング138との間の接続部を越えて自由に伝導される。これによって、エアギャップを通過する熱エネルギー伝導の変動という欠点を解消する。ここで、有効熱伝導度は、周囲表

面の接触面積と、実際のギャップの大きさ、およびギャップ内のガス圧力の変動により変化する。上部弾性サーマルパッド154は、再現可能な伝熱挙動を有し、その質が予測可能な連続伝導路を提供する。これによってチャンバドーム側壁130の温度制御が改善され、誘導コイルへ2000ワットのRF電力を印加した場合の温度勾配を5℃以下に減少させることができることが実証された。

【0059】円錐形側壁130は、底部から上部まで均一の厚さでも、図示のように底部の厚さ172を上部の厚さ174より大きくするようテーパを付けてもよい。ドーム130の内部を真空にした場合の応力解析の結果、厚さを上部に向かって減らしたテーパ状にすると、ドーム130の上部と底部の応力が等しくなった。従って、ドーム材料中の応力分布をほぼ均一に保ちつつ上部を薄くすることができる。ドーム材料内の許容応力と、従ってその厚さとは、選ばれた特定の材料と、基板の処理中に当該材料が加熱される可能性のある温度とによって設定される。ドーム130をポリシリコンで作る場合、シリコンカーバイドで作る場合よりも厚くする必要がある。その他の材料については、材料の温度特性を考慮して使用可能最小厚さを選ぶ必要がある。ポリシリコンドーム130の場合、底部の直径が約15インチ(380mm)で高さ約2-1/4インチ(57mm)なら、頂部の壁厚は約3/8インチ(9.5mm)で、円錐の底部の壁厚は約5/8インチ(15.9mm)である。シリコンカーバイドドームの場合、それぞれの厚さはそれぞれ低減され、ポリシリコンドームの場合に説明した材料の最大局部応力と降伏強度の間のほぼ同様な関係を満たすための類似比は5:3となった。

【0060】円錐形側壁130の内側および外側は、ドームの素材を旋盤または他の回転ベース上に置いて、ドームの内側と外側の角度に沿って直線切削することにより容易に製造することができる。この製造の容易さとは対照的に、部分的に丸い、あるいは半球状のドームを作るためには、複雑な型と工具が必要である。

【0061】シリコンカーバイドは、チャンバおよびチャンバ内の部品用の材料として示唆されてきた。その熱伝導率は150W/m・℃を超え、石英よりかなり大きい。処理チャンバがさらされる壁の温度安定性の改善は、誘電体であり、電界が通り抜けできる窓として作用し、良好な熱伝導率を持ち、プロセスの堆積およびエッチングステップ中のチャンバ環境と化学的適合性のある壁材料を用いることで達成できる。また、処理チャンバの外壁形状は円錐形であって、垂直な直角壁を持つチャンバの熱特性と比較した場合、チャンバ壁と周囲の熱制御部材との間の、優れた面接触と温度制御をもたらす。

【0062】シリコンカーバイドは、フッ素スカベンジャとして作用する元素状態シリコンの代替物として示唆されてきた。しかし、これまで、シリコンカーバイド製

のコンポーネントはほとんど焼結状態でしか入手できず、石英と同様の粒子の問題を多くかかえている。しかし最近、ルー他は1996年7月26日出願の米国特許出願第08/687,740号において、焼結シリコンカーバイドで成形されるバルク部材と、この部材のプラズマに面する側に化学蒸着(CVD)によって堆積させた比較的薄いシリコンカーバイド層とを含む複合構造を開示した。このバルク構造は、標準的焼結プロセスによってほとんど随意的形状に容易に成形可能であって、優れた強度と妥当な熱伝導率を提供する。CVD表面層は耐プラズマエッチング性が極めて高く、粒子発生の可能性が少ない。さらに、表面層の電気伝導率を、バルク部のシリコンカーバイドとは独立して制御することができ、そのため、複合材料の有効表皮深さを十分に浅くして、電磁放射を可能にするのと同時に、所望の場合は、電気的に接地することができる。

【0063】円錐形の誘導コイル180を、円錐形の側壁130の外側近傍に置くと、得られる構造は、半球状コイルを半球状ドーム上に置いた場合とプラズマへほぼ同様の効果をもたらす。それは、チャンバ内のガス中のプラズマ密度の均一性を改善することが知られているのとはほぼ同じ電界と磁界を発生するからである。プラズマの均一性はエッチングまたは堆積の空間的均一性にとって重要である。コイル180の上部巻線がチャンバ中心に近いほど、処理基板(ウェーハ)上のプラズマ密度の変動が少なくなる。円錐形のコイルの断面、例えば図10のコイル180を同じサイズの半球状コイルと重ねて見ると、対応する巻線同士の間隔が小さいことが分かる。密に近接して取り囲む誘導コイルを持つ純円錐形側壁と純半球形側壁とを比較すると、半球形チャンバ頂部の方がより均一なプラズマ密度をもたらすが、均一な応力分布は非切頭チャンバが他のものに対して強度面で有利だという意味ではない。

【0064】しかし、多くのプロセスで、プロセスに好適なバイアスを供給するため、平坦な電極(対向電極)を基板の処理面に対向配置する必要がある。そのような対向電極の場合、チャンバのルーフがほぼ平坦であるが、あるいは、ペDESTAL52に対向して配置される対向電極を支持し電気的に接続するためにチャンバの側壁および/またはルーフに貫通孔をあける必要がある。このように半球ルーフの頂部が切頭または平坦化されている場合、壁が外側にカーブしているために応力分布の著しい不連続が発生するので、半球(すなわち半径を持つドーム)の切頭部の端部では応力が増加する。他方、円錐を切頭して、図14に示す円錐台形にした場合、そのような不連続性は発生しない。ドームの直線状の側壁182が負荷の方向と一致し、錐台部のエッジ、すなわち切頭円錐のシェルの頂端部184に著しい不連続がない状態で圧縮垂直負荷が伝達されるからである。ドーム130の錐台形の利点は、応力分布パターンが直線状の側

壁182のために歪まないこと、円錐形状の中間領域を介して、側壁182の外側のコイル巻線が半球ドームの周りに巻かれたコイルが発生させるイオン分布と極めて近似しているイオン分布(プラズマ密度)を形成することである。円錐台ドームの強度は計算上、同じようなサイズの切頭半球ドームの強度の7倍である。

【0065】図11と図12に戻ると、円錐形側壁130の外側面186は所定の傾斜角にカットされて環状誘導コイル支持部材188を支持する。この指示部材188は、内側円錐面190を有し、傾斜角は側壁の外側面186の傾斜角と一致する。その結果、両傾斜面186、190は、コイル支持部材188の内面190の直近の領域全体にわたって完全に相互接触する。傾斜角 $\alpha$ は、図15に示すように、円錐面186、190に共通な円錐面192上の傾斜直線と、円錐面192の対称軸196に直角な基面194との間の鋭角として定義される。対応する頂角 $\beta$ は、円錐の全頂角198として定義される。シリコンカーバイド、ポリシリコン、または窒化アルミニウム製で、表面仕上げ32 RMSの円錐形部材130、188の場合、頂角 $\beta$ は約105°で十分である。種々の材料特性と表面仕上げに対して傾斜角 $\alpha$ の選択は変化する。しかし、それぞれの場合、傾斜角は隣接するコンポーネントのクラッシュ角度以上であってはならない。

【0066】クラッシュ角度は、表面処理、摩擦係数、および法線力が、円錐面で係合する二つのコンポーネントを、内側コンポーネントが膨張するかまたは外側コンポーネントが収縮すると、あるいはさらに正確にいえば、内側部材が比較的大きく膨張し、あるいは外側部材が比較的大きく収縮する二つの部材の熱膨張差が発生したときに、力の大きさに係わらずロックアップさせる角度として定義される。両コンポーネントを相互に滑らせるため境界面に沿って加えられた力が、両コンポーネント間の滑りに抵抗する摩擦力に打ち勝つに至らない場合、両コンポーネントは角度の付いた円錐形境界面においてロックする。両コンポーネントがロックしてからさらに膨張(収縮)すると、相互接触している境界面の弾性クラッシュ、すなわち干渉応力が発生する。両コンポーネントは、境界面に沿った比較的小さい力が、両コンポーネントを結びつけている静摩擦力に打ち勝つのに足りない場合ロック結合されるが、力が大きければ、このロックに打ち勝つ。しかしロックアップ状態においては、滑りを開始させるために加えられる力がいかに大きくても、滑りを起こさせようとする力が摩擦力に打ち勝つことを幾何学的要因が阻止する。干渉応力は、コンポーネントの一方または他方が破壊される点まで増加し得る。

【0067】図15の右側に示したように、両部材130、188が熱膨張または熱収縮によって係合すると、サイズの相違(干渉)は両部材130、188内へ弾性

25

的に吸収される点が上限である。この弾性圧縮は、半径方向の熱駆動力 $F_r$ を、両部材130、188間で相互に対向する方向に作用させる。この考察は、自立型のコイル支持部材188のみを対象としている。半径方向の力 $F_r$ は、円錐面192に垂直および平行な成分 $F_N$ 、 $F_P$ に分解することができ、それぞれの強度は傾斜角 $\alpha$ によって次式のように表せる。

【0068】

【数5】

$$F_N = F_r \sin \alpha \quad (5)$$

および

【数6】

$$F_P = F_r \cos \alpha \quad (6)$$

重力やばね力など、その他のバイアス力はこれらの式には含まれていないが、簡単に追加することができる。

【0069】膨張または収縮がコイル指示部材188をドーム130に対して偏向させる場合、コイル指示部材188の $F_P$ 方向に沿った動きは、 $F_P$ が閾値 $F_{TH}$ を超えるまで、静摩擦力によって阻止される。通常の近似では、摩擦力の閾値 $F_{TH}$ は下記のように法線力 $F_N$ に比例する。

【0070】

【数7】

$$F_{TH} = c_{ST} F_N \quad (7)$$

ここで、 $c_{ST}$ は静摩擦係数であって、所定の材料の組み合わせと当該表面仕上げによってほぼ一定と見なされる。これらの式を整理すると次式が得られる。

【0071】

【数8】

$$\frac{F_{TH}}{F_P} = c_{ST} \tan \alpha \quad (8)$$

この最後の式は、静摩擦係数 $c_{ST}$ が十分に大きくかつ傾斜角 $\alpha$ が十分に大きく、特に式(8)の右辺が1より大きければ、摩擦力の閾値 $F_{TH}$ は、静摩擦ロックに打ち勝ち両部材を滑らせようとする力よりも常に大きいということを意味する。その結果、熱駆動力 $F_r$ は、それが部材130、188のいずれかの降伏限界または破壊限界を超え、部材130、188のいずれかが永久変形または破損するまで増加する。他方、式(8)の右辺が1より小さい場合は、 $F_P$ が摩擦力の閾値 $F_{TH}$ を超える値まで増加すれば、動きに抵抗する静摩擦力に打ち勝ち、静摩擦ロックは解除され、より小さい動摩擦係数が適用され、コイル指示部材188はドーム130に接触したまま、両部材130、188がもはや圧縮状態にはならない位置まで上昇する。

【0072】このように、傾斜角 $\alpha$ がクラッシュ角度より大きいと、摩擦ロックアップが発生し、ロックした部品は機械的損傷を受ける。しかしながら、傾斜角がクラッシュ角度より小さいと、このような膨張または収縮の

26

際、両コンポーネント間の傾斜面でのロックアップは発生せず、両部材は相互に滑るだけであって、両表面間の面接触は維持される。上述の理論は現象の理解のみを意図したものである。実際には、各部品はロックアップに係わる臨界値を完全に回避するため、十分な安全率をもって設計される。

【0073】二つの極端な角度を示せば、クラッシュ角度のよい説明になる。傾斜角 $\alpha$ が $0^\circ$ 、すなわち二つの平面の場合、たとえ追加のバイアス力が作用しても、熱膨張差による力が常に前記膨張に抵抗する摩擦力より大きいと予想されるので、コンポーネントがロックアップする可能性はない。これと対照的なのが傾斜角 $90^\circ$ である(内側、外側円筒の界面)。その場合、一方のコンポーネントの膨張または収縮の効果は、一旦全面接触すれば、完全に他方のコンポーネントに及ぶ。膨張差または収縮差は当初両コンポーネント間に干渉応力を発生させるが、温度が上昇し応力負荷が長期にわたると、そのような応力に対する設計上の考慮がなされていない場合、破壊が生ずる可能性がある。

【0074】傾斜角 $\alpha$ が $0^\circ$ からほぼ $90^\circ$ までの場合、熱伝達のための両コンポーネント間の接触は確保される。しかし従来技術において示される傾斜角 $90^\circ$ においては、コンポーネントの組立てに必要なギャップは、両コンポーネント間の熱エネルギー伝達速度を変化させる。部分的であろうと、完全であろうと、半球状の曲面ドームを用いる場合にも同じ影響がある。剛性部材の曲面間の効果的で均一な熱伝達は、純円錐面を用いてのみ達成可能である。相互の相対的位置ずれに関係なく、隣接するコンポーネント全体を接触状態に保つ二つの部材は異なる温度においてわずかに異なる相対的位置にあるかも知れないが、両者を全温度範囲にわたって完全接触状態に強制することができる。誘導コイル支持部材188とそれに取付けられたコンポーネントの重量が、支持部材188をドーム130に押しつけて良好な熱的接触を達成するのに十分な強制力を与える。しかし、一連のばねによって与えられるような正の可撓性強制力を、コイル支持部材188とドーム130の間に加えて、所望の程度の熱的接触を確保することが好ましい。

【0075】上記の頂角 $105^\circ$ は、傾斜角 $37.5^\circ$ に相当する。式(8)の臨界パラメータの関数形と、RFコイルをプラズマ処理領域にまで延長したいという要望を考慮すると、好ましい傾斜角範囲は例えば $60^\circ$ から $30^\circ$ まで、さらに可能性として $20^\circ$ あるいは $10^\circ$ にさえわたる。

【0076】図11と図12に示すように、コイルサポート188は、円錐形に巻かれたプラズマを誘導する誘導ワイヤーコイル180を保持するため、円錐形スパイラル溝210を含む。このコイルサポート188は、窒化アルミニウム、熱伝導率が極めて高い誘電体セラミッ

27

ク、または同様な伝熱特性を持つ他の同様な材料で作ることが好ましい。このコイルサポート188は、剛性の円錐ドーム形ヒーター被覆212に当接させられるが、このヒーター被覆は、コイルサポート188に対する熱膨張差を最小にするため、窒化アルミニウムで作ることが好ましい。剛性ドーム形ヒーターハウジング212に埋め込まれた電気加熱体214が、円錐形ドーム130に熱エネルギーを供給する。自動コントローラによって制御される電源215が、加熱体214へ選択的に電力を供給する。接着境界面216が剛性ドーム形ヒーター被覆212をコイルサポート188に熱的かつ構造的に結合する。コイルサポート188内の溝210の隣接する巻線間のスパイラルフィン壁218が、コイルサポート188の中心を介して、円錐ドーム130の外周190へ熱エネルギーを輸送する。コイルサポート188の厚さ方向の導熱伝達に利用できる表面積は、スパイラル溝210が占める表面積のため減少するので、コイルサポート188の厚さ方向の熱エネルギー伝達に対する熱抵抗は増加する。コイルサポート188とヒーター被覆212との間の円錐面が多少の熱膨張差を許容する。

【0077】図10の冷却リング200は、細部において図12の冷却リング200'とは異なるが、両者には類似の符号を付して同時に説明する。冷却リング200、200'は、剛性ヒーターハウジング212上に設置されるか、あるいはばね等の付勢部材によってそれに押圧され、および/または剛性ヒーターハウジング212の外側に接着される。剛性円錐形ヒーターハウジング212と冷却リング200、200'はいずれも、隣接面間の良好な熱伝達のため、相互に対向する傾斜した円錐形表面を持つ。閉止プレート/リング222、222'を有する冷却流体通路220、220'は熱伝達流体（水など）を収容し、この流体は前記通路220、220'を通して圧送される。自動コントローラの制御下のポンプ221が、冷水または他の熱伝達流体を冷却流体通路220、220'へ選択的に供給する。

【0078】図10に示すように、2個のOリング230、232が円錐形ドーム130の上部を上部シール・リング/プラズマ・ガード234とチャンバ・ルーフ236に対して封止する。これらはまた、図11の斜視図と、図13の拡大中心部断面図にも示している。チャンバの上部はチャンバ・ルーフ236によって閉じられ、ルーフ236には数個の供給孔238を介する中心ガス供給路を設けることができる。

【0079】円錐形の壁130と、その狭い頂部の上に延在する真空ルーフ236との組合せは機械的に極めて強い。圧力差によってルーフ236へ加えられる大きな力は、円錐形の壁130の頂部に垂直に作用する。この力は、円錐形の壁130の側面に沿う力と、円錐壁130の環状上縁を押す力とに分解することができ、いずれも強い機械的負荷である。パン他は、1995年8月2

28

1日出願の米国特許出願第08/517,281号において、部分的に円錐形のルーフを持つプラズマチャンバを示唆しているが、その構造の目的は、それらの頂部真空壁が、上部円錐形リムのかかなり下まで延びることを指定しており、機械的に好ましくない構造である。円錐形ドームの強度上の利点は、同一圧力の円筒形チャンバをドームの上部リム上に配置すれば維持される。

【0080】ルーフ236は、隣接する加熱プレート240内の抵抗ヒーターによって選択的に加熱され、加熱プレート240の直後にある冷却プレート244に形成されたスパイラル溝242内を循環する水によって、選択的に冷却される。スパイラル流体溝242はトップカバー248によって閉じられている。しかし加熱と冷却は、当業者が理解できるように、各種の平坦プレートの温度制御方法に従って修正することができる。平面構造のため、熱膨張差はプレート236、240、248の間の熱的接触に直接影響を及ぼさない。わずかな横方向の滑りがあっても熱的境界面は分離しない。

【0081】図13に詳細断面を示すように、中心ガス供給路は、インバルからなるガス供給プレート412を貫通するガス供給管410を含む。ガス供給管410のフレア型端部は、ガス供給プレート412の底部に保持される。ばね414は、ガス供給プレート412を、ガス供給プレート412をルーフ236に対して封止しているOリング416と反対の方向からルーフ236に向けて押圧し、このようにしてガス供給プレート412とバッファプレート418の間に上部ディスク形マニホールド417を形成する。上部マニホールド417の垂直方向寸法は、ガス供給管410のフレア型端部によって維持され、ガス供給管410内の供給ガスと内部の流体が連通している。バッファプレート418とルーフ236との間に下部ディスク型マニホールド420を形成するように、バッファプレート418がルーフ236内の環状リッジ419上に支持されている。このバッファプレート418は上部及び下部のディスク形マニホールド417、420間の連通のため多数の軸方向通路を含む。複数の供給孔238の各々は、ルーフ236の底部に小径の下部ジェットホール421を、頂部に大径の対向孔422を含む。これにより、ガスが供給管410からルーフ236の中心のかかなりの広さに分配される。

【0082】本発明の熱制御体の利点を活用するためには、チャンバ壁の温度をモニターする必要がある。例えば、図13の拡大断面図に示すように、熱電対426をトップカバー248、冷却プレート244、および加熱プレート240を貫通させて、ばね428によってルーフ236の頂部に対して付勢し、その温度を測定する。さらに、図12に断面で示すように、もう一つの熱電対430をばね432によって円錐形ドーム130の外側に付勢する。二つの熱電対426、430と他の任意の



温度測定センサーの出力は、不図示の自動コントローラによってモニターされ、この自動コントローラは、各部品を所望の温度範囲内に維持するため各種ヒーターユニットへの電力供給を制御する。

【0083】この構成により、チャンバ壁内の良好な熱伝達と、熱効果リングとチャンバ壁の間の均一な熱伝達境界面のため温度制御回路への正確な温度検出とフィードバックとが、従来技術による構成よりもチャンバの壁とルーフのはるかに正確な温度制御を容易にする。

【0084】側壁130とルーフ230それぞれの構成によって得られる両者の正確な温度制御は、他の構成、特に高密度プラズマ内へのRFエネルギーの誘導結合を含む構成におけるよりもはるかに良好なプロセス制御を可能にする。この利点は、酸化エッチングにおいて特に好都合である。そして、チャンバのすべての部分の温度制御によりウェーハ上のポリマー形成が正確に制御され均一化が可能となる。異なるチャンバ部分とウェーハとの相対的温度を変えることによって、同一チャンバを、均一エッチングモード、選択エッチングモード、洗

浄モード、および堆積モードで運転することができる。【0085】図10の構成の利点は、高いプラズマ密度において極めて均一なプラズマを作り得ることである。図10のチャンバの寸法例としては、ベDESTAL52の直径が8インチ(200mm)のウェーハよりわずかに大きく、チャンバルーフ236の直径が8.5インチ(215mm)で、ベDESTAL52とルーフ236の間隔が4インチ(100mm)である。すなわち、ルーフの直径は、ウェーハの直径との差が6%以内であるが、以下詳細に説明するように、直径の差が20%未満であればほぼ同様な利点が得られると期待できる。

【0086】図10の円錐形チャンバと、ライス他が述べている円筒形チャンバにおいてイオン電流を測定した。プロセス条件は両実験において同一で、1200WのRFパワーを誘導コイルに印加し、ベDESTALまたはルーフにはバイアスを印加せず、圧力は8mTorr、ガス流量は、アルゴンを150sccm、C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>を9sccmとした。イオン密度の半径方向分布を図16に示す。プロット230は円筒形チャンバによる実測イオン密度を示す。中央部に凹みがあり、全体としての均一性は7.3%である。プロット232は円錐形チャンバに関する対応値を示す。全体としての均一性は3%である。

【0087】図10の構成もその他の構成上の利点を提供する。図14に示すように、側壁182のかなりの傾斜は、円錐の底面近傍にある基板領域242の上方にある上面240の面積が、基板とほぼ同じ面積を持つことを意味する。これと対照的に、図9に示すように円筒形チャンバは、はるかに大きい頂部面積126を有する。これは以下に説明するように、シリコン含有スカベンジャーを頂部領域240に配置してRFバイアスをかける

場合、重要になる。

【0088】図10のチャンバルーフ236はいくつかのモードで運転可能である。これは処理の化学作用に直接的に関与しない誘電体部材であると厳密に見なすことができる。誘電体としては、ドーパされていないポリシリコン(実際は中程度の抵抗を持つ半導体)、シリコンカーバイド、または窒化珪素で作ることが好ましい。プロセス環境がそれを許すならば、ルーフを石英で作ることができる。ルーフ温度を維持する温度制御要素に適合させて、パンケーキコイルまたは他の誘導コイルを誘電体ルーフ236の背面に配置できる。ルーフ236はまた、導電性として電氣的に接地またはバイアスし、一つの電極としてプラズマ形成に関与させてもよい。ルーフ236は円錐形ドーム130の内面を介して接地することができる。ドーム130と異なる電圧に電氣的にバイアスされている場合は、プラズマガード234を石英などの電気絶縁セラミックで形成する必要があるが、ルーフ236が円錐ドーム130に電氣的に接続されている場合は、プラズマガード234はシリコンカーバイドなどの導電体で作ってもよい。ルーフ236をスパッターされる材料で作られたターゲットとし、ウェーハ上にスパッタを堆積させることも可能である。

【0089】図10の構成の特別な利点は、ルーフ236がRFバイアスされ、ルーフ236がベDESTAL52とほぼ同じサイズのとき得られる。より大きなサイズであるが同じ様に配置されたルーフをポリシリコンまたはシリコンカーバイドのようなシリコン含有材料で作し、フッ素の化学作用を用いた酸化エッチャーに用いると、好都合であることが知られている。シリコンはプラズマ中のフッ素のスカベンジャーとして作用し、そのため、シリコン基板上に堆積するポリマーをフッ素欠乏状態にする。そのようなフッ素欠乏ポリマーは、シリコンより酸化シリコンを優先してエッチングするプロセスにとって有利である。すなわち、酸化シリコンのエッチングはシリコン上で停止する。しかし、シリコン含有スカベンジャーを活性化させる必要がある。固体シリコンを熱的に活性化できることは知られているが、その温度は数百℃である。そのような高温は、特にシリコンルーフの周囲の真空シールに設計上困難な問題をひき起こす。代替的に、シリコンルーフをRFバイアスし、その結果発生するルーフ近傍のプラズマがそれを効果的にエッチングするようにして、スカベンジ・シリコンを活性化することができる。同時に、ウェーハを支持するベDESTAL52を、同じくRFバイアスしてウェーハのプラズマエッチングを制御することができる。

【0090】前述のオグレル他の特許に記載されているように、一つのRFジェネレータからの電力を二つの電極52、236に50:50で分割することができる。しかし、先に考察したように、ウェーハに面した対向電極236がウェーハよりかなり大きいと、プラズマは、大



きい方の電極を陽極とし、小さい方の電極を陰極とするダイオードとして作用する。その結果、プラズマイオンはウェーハに対して加速され、ウェーハのソフトエッチングに寄与するのでなく、スパッタリングを行う。しかし、もし両電極のサイズがほぼ同じ、例えば面積で25%以内で同じであり、RF電力が両電極に均等に分割されれば、このダイオード効果は避けられ、RF電力レベルを、ウェーハに隣接するプラズマシース全体にわたって、最適のDCバイアス効果を提供する任意のレベルに調節することができる。その他の電力分割比も可能であり、酸化エッチングには実に好ましいことである。本発明の円錐形ドームは、ウェーハとほぼ同サイズのシリコン含有ルーフに適合性がある。そのような利点は、例えばオグル他が行った純粋な容量結合のように、誘導結合がない場合にも得られる。

【0091】図17は、本発明による熱制御システムの他の構成を示す。円錐形ドーム130の側壁は、自動コントローラから選択的に電力を供給されて、外面186を照らす一連の加熱ランプ260によって加熱される。ランプ260からの放射は、誘導ワイヤーコイル180を覆っているテフロン被覆262の外側も照らす。この構成の短所は、外部に配置された加熱ランプ260が、円錐形ドーム130の加熱の前および同時に、ワイヤーコイル180を加熱することである。

【0092】ドーム130の側壁温度の制御は、導体円錐ドーム130を介した熱エネルギーの伝達によって行われる。熱伝導性のシリコンまたは炭化シリコンの円錐形ドーム130は、ドーム130の下部外側コーナー264へ下向きに熱を伝導する。ドーム130は、この下部外側コーナー264で下部シールリング172と接触しており、これは図12を参照して既に述べたように、一体型冷却流体通路174と、それを封止する閉止プレート176とを備える。冷却されたシールリング172は、チャンバ側壁130から熱エネルギーを受けるヒートシンクとして作用する。円錐形ドーム130のシリコンまたはシリコンカーバイド組成物は、十分な熱伝導性を備えるので、ドーム130の面に沿う温度勾配は小さく保たれ、ドーム130は大量の熱エネルギーを吸収するので、さまざまな熱負荷のもとでの温度変動を低減する。

【0093】同じように構成された従来構造の石英製の側壁の頂部から底部までの温度勾配は100℃にもなり得る。側壁のそのように大きな温度変動は、基板の「コールド」始動からの連続処理の時間とともに温度勾配が変化するので、プロセスの均一性に著しい影響を及ぼし得る。一つまたは複数の検出場所の温度による制御の試みは、平均内部温度をモデル化しようとする近似により常に不正確さを含み、温度勾配の上限と下限の極値には何ら有効ではない。これらの不正確さは、正確に再現可能なプロセスパラメータの正確な設定に対する障害であ

る。正確に再現可能なプロセスパラメータは、本発明の構成を用いれば達成でき、その場合、シリコン系の熱伝導性材料を側壁に用いると、チャンバの側壁（円錐形、円筒形、または他の形状の側壁）の頂部から底部までの温度勾配が予測可能であり、最大勾配は3℃から5℃である。石英を用いた場合にあり得る100℃の温度勾配と比較すると、正確な温度制御の利点は確定的であり、チャンバ内の基板処理の再現性は著しく改善される。

【0094】図18は、本発明による円錐形ドーム130の、本発明による温度制御システムのさらに他の構成である。この構成において、円錐形ドーム130を連続的に加熱する可撓性ヒーター集合体270は、二つのポリイミド被覆274、276の間に散在させた加熱体272を含む。自動コントローラが選択的に加熱体272を加熱する。接着剤278により、可撓性ヒーター集合体270を円錐形ドーム130の外側に固定する。RF誘導コイル262がRFエネルギーをチャンバ内へ結合して、チャンバ内のガスを励起し、基板処理位置でプラズマを形成する。RF誘導コイル262は、コイル262にほぼ直角な、すなわち円錐形ドーム130の傾斜面に平行な閉じた磁力線を形成するが、この磁界は円錐形ドームの曲面近傍のコイルの上方と下方において、すなわち円錐形ドームの内縁および外縁に向かって著しく減少する。振動磁界に伴う電界はプラズマを励起するが、この電界はコイル262に電力を供給しているRF周波数で振動する。この振動電界は一般的に式(2)を参照して説明したように、円錐形ドーム130の対称軸を中心とする回転経路をたどる。コイル262によって生じる回転電界は隣接する導体加熱体232内に電流を誘導する効果を持つ可能性があり、従ってプラズマからのRF電界を短絡する可能性がある。しかし、コイルと透明加熱体の、図19の外側面図から分かるように、RF誘導コイル262はスパイラルに巻かれるが、主として図示の水平方向に延び、同じく図の水平方向に走る回転電界を生じる。この構成は図20にも分解斜視図として示す。加熱体272は、ポリイミドの被覆274、276の間に埋め込まれた一本のワイヤーであって、円錐形ドーム130の傾斜部分の表面を、主としてRFコイル262に直角に前後に蛇行して走っている。

【0095】加熱体272における屈曲部276すなわちスタブ接続部は、RFコイル262領域の外側でコイル262が覆う曲面に比較的近い領域にある。この領域においては回転電界は最小である。

【0096】有利なことに、加熱体272の導体は、RFコイル262とチャンバとの間の円錐形側壁の周りに置かれたファラデーシールドとして作用する。そのようなファラデーシールドは、電界誘導効果に悪影響を及ぼすことなく、誘導コイルの容量効果を分断する。容量結合はシールドされていないRFコイル262内で、コイルの電気抵抗が有限でコイルの両端間に数千ボルトの電

圧が生じるために、発生する。これらの電圧は、接地されたチャンバ部分へプラズマを横切って容量結合される。しかし、加熱体272の直線部分274は、RFコイル262の頂部巻線から底部巻線へ直接走り、より低い電圧を発生させ、RFコイル262が発生させるよりもはるかに小さい電圧勾配を発生させる。この直線部分274は、RF誘導コイル262の領域の外側にある屈曲部276によって接続されているが、全体的に同一平面内にあり、RFコイル262によって生じる電界と磁界への影響は無視できる。このように、RFコイル262にはほぼ直交して延在する蛇行加熱体272の、RFコイル262が誘導する回転電界への影響は、たとえあったとしても無視できる程度である。

【0097】加熱体272のファラデーシールド効果は、加熱体272がRFコイル262が通電されていないときのみ通電され、RFコイルが通電されているときは接地または電源に接続されないままになっているので、それがファラデーシールドとして作用しているときには抵抗電圧降下は発生しないという事実によって、高められる。このシーケンスは、RFコイル262への通電の有無にかかわらずチャンバ壁への熱の流れをかなり一定に保つために加熱体272を使用することにより得られる。加熱体272の蛇行経路を、図22に示すように、よりサインカーブに近い傾斜した経路に沿わせると、屈曲部276がRFコイル262から離れた所にある限り、ほぼ同様に良好な効果が得られる。

【0098】図19は、図18のコイル262とヒーター272の構成の拡大断面図であり、図20は同じく一部断面の分解斜視図である。誘導コイルワイヤー262は、巻線間のピッチをほぼ一定としてスパイラルパターンで配線されている。チャンバ内のプラズマ密度をさらに微調整したい場合、図20のコイル262を、図21に示すような可変ピッチ巻線のコイル262' 構成に置き換えればよい。図20、21に示すコイル262、262' に付した破線は、コイル262、262' の巻線によって形成される仮想円錐基準面をなす真円錐の頂部底部各エッジへの基準ガイドである。

【0099】平面図22に示すように、円錐形ヒーター270を形成するポリアミドまたは他の可撓性材料製の円錐形被覆274、276は、それぞれ平坦なシート277から切り出すことができる。平坦な曲がっていない被覆274、276は、次式で表される中心角 $\gamma$  (ラジアン) の扇形の外径方向の一部分である。

【0100】

【数9】

$$\gamma = 2\pi \cos \alpha$$

(9)

円錐頂角 $\beta$ が $105^\circ$ の場合、扇形の中心角はほぼ $143^\circ$ である。曲げられていないシースは内外の円弧278、279に囲まれ、それらの半径はそれぞれ $r_1/\cos \alpha$ 、 $r_2/\cos \alpha$ であり、ここで $r_1$ 、 $r_2$ はそれ

ぞれ、図20に示す円錐形ヒーター270の内側、外側の半径である。図22の形状を検討すると、円弧278、279の長さはそれぞれ必然的に $2\pi r_1$ 、 $2\pi r_2$ となり、従って、切り取られたシース274、276を、所望の円錐形に曲げたとき、引っ張られることなく円錐形に適合することが分かる。この条件は $r_2$ の値いかにかわらず成立するので、シース274、276全体は、横方向の変形すなわち引っ張りもしわもなく円錐形に曲げることができる。

10 【0101】このようにして、円錐形ヒーター270は、一部分または全部を平坦に形成し、その後それを所望の形状に曲げて作ることができる。ある程度弾性を持つポリアミドに内部吸収されるべき唯一の変形は、曲げられる部材の厚さが有限であることにより発生する。

【0102】RFコイル262、262' 形成に用いるワイヤーは、コイルに印加される非常に高いRF電流による抵抗電力損失を減らすためには非常に重くなる傾向がある。しばしば、このコイルはチューブ状導体、例えば銅チューブであって、コイル冷却のため冷却水がその中心を流れている。その結果、RFコイルは、特に円錐スパイラルに求められる複雑な形状においては、巻き付けが困難になる傾向がある。

【0103】RFコイルは、図23に示す巻線ジグ280を利用することで、円錐形スパイラルに巻くことができる。巻線ジグ280はジガラット、すなわち円形のまたは別途扁平な基部を持つほぼ円錐形状に形成される。緩やかなスパイラル状の傾斜部分つまりテラス282が、ジグ280の底部から頂部までを取り巻いている。傾斜面は、円錐の基部に対して常に傾斜した経路に沿って走り、その横断面は基部に対してほぼ平行であるが、誘導ワイヤー262の断面に適合するように傾斜部分282内に凹みを形成することができる。断面図で見ると、この単一の傾斜部分282は多段形状を呈する。ワイヤーは、ジガラット・ジグの周りを走るスパイラル状傾斜部282に沿って巻かれて行く。連続する各巻線間の軸方向と半径方向のピッチが一定の定ピッチジグを示しているが、可変ピッチジグも同じ原理に従う。

【0104】図24は、本発明のもう一つの実施形態である一体型ドーム230' を示す。この断面図は、単一材料、例えばシリコンまたはシリコンカーバイドでできた処理チャンバの上部を示す。一体型構造は、エッチングリアクタにおける厳しい環境下で故障の可能性をならむ、円錐形側壁とほぼ平坦な頂部との間のリム部でのオーリングを不要にする。

【0105】2個の可撓性ヒーター集合体270、286が、ドーム230' の円錐部分288と、ほぼ平らなルーフ部分290上に配置されている。2本の冷却リング292、294がドーム230' の底部とドーム230' のルーフ部分290上の可撓性ヒーター集合体の上方にそれぞれ配置されている。図18～図20を参照し

## 35

た前述の説明に類似する円錐形の可撓性ヒーター270が、RFコイル262の内側に取付けられている。一体型ドーム230'は、かなり前に説明したチャンバの円錐ドームとルーフの両方の作用をする。側壁288は円錐形であるが、円錐部分の内面はさらに複雑な形状であってもよい。他方、トップ290の内面は、機械的強度のためわずかにアーチ状であってもよいが、熱的接触を容易にするため上面と外面は平らである。一般的に、アーチ形状の高さはその直径の10%が限度である。

【0106】この一体型ドーム230'は下へ延びる下側のプラズマシールドフランジ296と、外側へ延びる外側支持フランジ298とを含む。シールリングとしても機能する下部冷却リング292は、先に図12を参照して説明した下部冷却リング176を修正したものである。これは、中を冷却流体が流れる冷却流体通路300と、同様に弾性の熱伝達パッド302と、Oリング304と伝導性のOリング状要素を収容する溝306とを備えている。この構成はまた、環状ルーフヒーター286（同じく1.5kW定格の円錐形可撓性ヒーターの定格に類似する、1.5kW定格が望ましい）を含む。ルーフの温度制御を行うため、冷却流体通路295を備えた環状ルーフ冷却リング294が、環状ルーフヒーター286に接着されている。この構成により、チャンバの傾斜面の双方向冷却を行う。

【0107】この構成においては、リアクタの鉛直対称軸を中心として多重巻きされた円筒形の二次コイル308が一体型ドーム230'の頂部の中心軸に沿って配置され、磁界と、それによってできる電界およびチャンバ内のプラズマ密度を調節または強化し、処理チャンバ内のウェーハの中心付近のプラズマ密度の均一性を改善し、それによって一連のコイル巻線によって発生するプラズマの中心に起こりやすいプラズマ中の空隙をなくすることができる。ルーフコイル308には円錐形側壁コイル262と共通に通電することができるが、電力を両者間で選択的に分割してチャンバ内のプラズマ密度分布を調節することができる。RF電力分割回路については後述する。環状加熱リング286と環状冷却リング294を平坦なルーフ部分290上の別々の箇所に配置して用いると、二次コイル306をドーム230'のルーフ部分290に隣接して配置することができる。当然、加熱リング286の下にあるルーフ部分290の平坦領域は、二次コイル306の下にある平坦領域と段差を設け、しかもある程度の半径方向膨張差を許容できることが理解できる。

【0108】図24のリアクターの側部円錐コイル262と組み合わせた二次コイル308は、図4のバンケーキコイルより優れた多くの利点を提供する。側部コイル262は主コイルであって、普通は2000W~3000Wのレベルの電力を供給され、チャンバ内のプラズマを大部分サポートする一方、二次コイル308は電界と

## 36

その均一性の微調整にのみ用いられ、そのRF電力レベルは約500から1000W程度である。従って、大部分の熱は機械的に強い円錐壁288上において発生し、より少ない量の熱が機械的に比較的弱い構造の、ほぼ平坦なルーフ290において発生する。

【0109】この構成は、平らなヒーターバンケーキをルーフ部分290の上方に配置するように改造することができる。このヒーターバンケーキは、図18の可撓性ヒーター集合体270または図12の剛性加熱体212を、形状を変化させる適当な修正を行って適用することができる。次にバンケーキRFコイルを、ファラデーシールドとして編成されたヒーターワイヤーを持つヒーターバンケーキの外側に配置することができる。

【0110】構成に関わらず、一体型ドーム230'の温度をきめ細かく制御して、プロセス制御と均一性を促進することができる。一体型ドーム230'用の各種モニター装置および制御装置は、先に説明した多部品ドーム用のものと大きくは異なるので図示しない。

【0111】ここで、本発明による熱の流れを従来技術のものと比較する。図25は、図7に示す従来技術の処理チャンバの円筒形側壁を通る概念的な熱の流れと温度勾配を示す。大きな矢印330は、チャンバ332内の処理空間からの熱エネルギーの流れを示す。垂直のチャンバ壁334はこの熱エネルギーを、冷却要素（不図示）を含むチャンバのルーフ338に接触している上端336へ伝導によって伝える。外側リング342の溝によって支持されている誘導コイル340はチャンバ壁の外側に配置されている。チャンバ外壁と外側リング342の内表面との間のギャップ344は、外側リング342とチャンバ壁334の間の直接熱伝達速度を制限するが、円筒形状にギャップがない場合にサーマルサイクル中に起こるかも知れない破壊を防ぐためにはギャップ344は必要不可欠である。プロセスのアイドリング中、外側リング342は外側リング342の下部を取り巻くリング加熱体346によって加熱される。小さい矢印348は、加熱体346からルーフヒートシンク350への熱エネルギーの流れを示す。ギャップ344は、チャンバ壁334と外側リング342との間のギャップを通過する熱エネルギーの均一で効率的な伝達を妨げる。さらに、チャンバ壁334は熱の不良導体である石英製が普通である。従って、温度サイクル中のチャンバ壁334の温度制御、大幅な温度のばらつき、空間的あるいは時間的な変動、を防止することが困難である。

【0112】図26は、図10に示す本発明による円錐構成の概念的な熱伝達を示す。ここでもプロセスからの熱の流れを大きな矢印360で示す。この構成では、ヒートシンク362が、加熱リング365と、誘導コイル366と、そのサポートリング368との後方の円錐冷却リング364内に配置されている。従って、プロセスからの熱エネルギーは、短い矢印で示すように横方向に

## 37

チャンバ壁370を通過し、コイル支持リング368、加熱リング365を通過して冷却リング364へと流れる。プロセスのアイドルモードにおいて、加熱リング365が通電されると、熱エネルギーは小さい矢印374で示すように流れる。加熱リング365と、誘導コイル支持リング368と、チャンバ壁370との間の密着した円錐形表面は、熱膨張差を生じる温度サイクルと温度差にもかかわらず、部材365、368、370の間に良好な熱接触を維持する。さらに、熱の流れは、幅の広い面に対して比較的短い距離についてのみ起こるので、

アイドルモードとプロセスモードのいずれのモード期間においてもチャンバ壁370の良好な温度制御ができる。  
【0113】図27は、図18と図19に詳細を示す抵抗サーマルブランケットの実施形態における概念的な熱伝達を示す。ヒーターブランケット270は、RFコイル262の内側で処理チャンバの円錐壁130上に直接載置されている。チャンバ使用中のプロセスから、およびプロセスがアイドル中の加熱体270からの熱は、両方ともチャンバ壁130を通過して流れる。この場合、チャンバ壁130はポリシリコンまたはシリコンカーバイドなどの熱エネルギーの良導体で作ることが望ましい。チャンバ壁130は、その基部において熱を横方向に冷却リング174へと伝導する。熱の極めて良好な導体である壁材量は、壁の頂部から底部までの温度勾配を確実に小さくする。その温度差は5〜20℃の範囲にあると推定される。

【0114】図28は、図24に示す一体型ドーム230'内の概念的な熱伝達を示す。この構成において、チャンバ内のプロセスからの熱エネルギーの流れは、一体型ドーム230'の円錐形部分288の上下にそれぞれ配置された二つのヒートシンクリング292、294に流れる。チャンバ壁288の基部にある一方は、図27に示したものと類似の構成であり、他方はチャンバ壁とルーフを含む一体構造のルーフ上のその配置位置に合わせて多少異なる設計になっている。この構成では、図27に示した構成よりも熱エネルギー伝導距離ははるかに短くなっているため、温度勾配はさらに小さくなっている。従ってこの構成はチャンバ壁の極めて良好な温度制御を提供する可能性を持っている。

【0115】本発明の種々の態様は、酸化物エッチングに特に有利なプラズマリアクタチャンバの設計、製造、および運転を可能にする。図29の概略側面図に示すように、チャンバ内のプラズマは誘導的かつ容量的にサポートされている。RF電源452が、円錐形ドーム130の外側の誘導コイル180へRF電力を供給する。もう一つのRF電源454が、導体ルーフ236と、エッチングされるウェーハ50を支持するペDESTAL52との間へRF電力を供給する。2個の阻止コンデンサ456、458は、ルーフ236とペDESTAL52に生成される、RF電源454からの自己バイアスDC電圧を阻

## 38

止する。阻止コンデンサは、例えば1 $\mu$ Fの真空コンデンサであって、普通に用いられるRFの低メガヘルツ範囲でのインピーダンスは小さい。自動コントローラ470は、二つのRF電源452、454を起動し、その電力レベルを設定する。フルオロカーボンのエッチャントを用いる酸化物エッチングプロセスには、ルーフ236と円錐形壁130の両方をフッ素スカベンジャーで構成することが望ましい。例えば、ルーフ236を、ポリシリコン、シリコンカーバイド、またはガラス質カーボンで構成する一方、円錐形壁は導電性をあまり高くすべきでないため、ポリシリコンまたはシリコンカーバイドで構成すればよい。材料とその導電性の選択は、リアクタに期待される運転モードに依存する。プラズマが、金属汚染物質ではなくシリコンを含有する材料と相互作用を行うよう、シリコンまたはシリコンカーバイドのリング460がペDESTAL52を取り囲んでいる。ペDESTAL52をプラズマから保護するため、石英製またはシリコンカーバイド製、この方が寿命が長い、のカラー462が、ウェーハ50の外周の周りのペDESTAL52の環状凹部に嵌合されている。

【0116】ルーフ236のスカベンジングは、電極RF電源454が二つの電極52、236の間で電力を選択的に分割できるので、熱エネルギーよりはむしろRFバイアスによって活性化される。図30に概略を示す電力分割は、RF電力を、ウェーハペDESTAL52とルーフ236の間で分割する。標準RF電源464を、不図示のRFマッチング回路を介して、広帯域1:1電気トランスのような分割回路466の一次側に接続する。このトランスの二次側には数個のタップがあり、整流スイッチ468を介して選択的に接地することができる。トランス466の接地電位は、同じく接地されている円錐形壁130の基準電位とされる。しかし、他の固定電圧をトランス466の基準電位とすることもできる。阻止コンデンサ456、458があるので、トランスの接地を用いて、電力分割を行うが、電極52、236上のDC電位の制御には用いない。スイッチ468の位置が、ペDESTAL52とルーフ236へ供給されるRF電力の分割比を決定する。他のタイプのRF電力分割も、よく知られているように用いることができる。オグル他が教示しているように従来技術の電力分割比は50:50であるが、この発明に適用される酸化物エッチングに関しては、低い分割比、すなわち、ルーフ電極236よりもペDESTAL52へ多くのRFパワーが供給される分割比が好ましい。

【0117】大量のRF電力をルーフ236へ供給することで、ルーフ236内のシリコンが活性化される。これによって、ルーフ236は、それ自体を熱的に活性化させるとき可能な温度よりも低い温度に維持され得る。本発明によって提供される低い運転温度はシステムの熱的要件を緩和するので、その設計が簡素化し、部品寿命

を延ばす。また、フッ素スカベンジングは、複雑な温度サイクル中に対向電極が呈する温度によってではなくむしろ、対向電極に印加されるRFエネルギーによって制御されるので、エッチングプロセスは、より確実に制御可能である。さらに、本発明が提供する円錐形壁130その他の部分の厳密な温度制御により、エッチングプロセスをより完全に制御することができる。

【0118】円錐形の壁は優れたスカベンジング制御に直接関与しているため、酸化物エッチング用のリアクタに選択的に提供される。この円錐形状により、側面の誘導結合をウェーハの上方に配置してプラズマの均一性を増すのみならず、エッチングされるウェーハとほぼ同一サイズの対向電極の収容が可能になる。その結果、ダイオード効果が低減されるので、励起されたエッチャント粒子の低エネルギー束が生成される。また、対向電極のサイズはより小さいので、それがフッ素スカベンジング材料で構成されている場合、対向電極へ分割される比較的少量のRF電力によってスカベンジング核種を十分に活性化することができる。電力分割比10:90、20:80および25:75でテストを行った。20:80の電力分割比において、エッチングを停止することなく、選択性が最良となりプロセスウィンドウが広がった。シリコンスカベンジャのRF活性化は、より低い温度での運転も可能にし、テストは135~140℃の範囲の低い温度まで拡張された。バイレベル(二重レベル)プロセスも140~180℃の範囲で達成できたが、150℃が望ましい。

【0119】図31にブロック図を示す自動コントローラ470がプラズマエッチングリアクタを制御する。RF電源452、434を介してプラズマを活性化するため、選択された量のRF電力がチャンバに印加される。温度は、2個の熱電対426、430でモニターされる。印加されたRF電力と実測温度とに応答して、冷却水がポンプ173、221によって選択的に圧送され、ヒーターサブライ215を介して熱が注入される。もちろん、本発明の思想の範囲内で、熱制御体とRF電源の使用個数を変更することができる。自動コントローラ470はまた、プロセスガス流、真空吸引、およびその他のパラメータも制御することができる。自動コントローラ470は、その中の転送可能記録媒体472、例えばフロッピーディスクまたはCD-ROMに記録された、または通信リンク474を介して入力されたプロセス手順に従う。

【0120】この構成は、平らなヒーターバンケーキを、ルーフ部290の上方に配置するように改造することができる。このヒーターバンケーキは、図18の可撓性ヒーター集合体270、または図12の剛性加熱体212を変更された形状に合わせて適当な改造を加えて適合させてもよい。その後、バンケーキRFコイルをフェラデーシールドとして編成したヒーターワイヤーを持つ

ヒーターバンケーキの外側に配置してもよい。

【0121】先に説明したリアクタには、様々な用途において明確な利点を提供する多くの変更例や組合せがある。

【0122】図32に概略断面で示す関連設計は、図10と図11の複数部品チャンバを改造したものであるが、電力供給の特徴は、図24に示す一体型チャンバのものである。二次コイル308をディスク形ルーフ236の背面に配置する一方、主コイル180を円錐形ドーム130の背面に配置してあり、これは抵抗率 $10^5 \Omega\text{-cm}$ を超える、主として焼結シリコンカーバイド製であることが望ましい。二次コイル308は、図示のようにソレノイド形状としてもよいが、図4のようなバンケーキコイルとしてもよい。二次コイル308の目的は、主コイル180がRF電力の大部分を、円錐形ドーム130を介してチャンバ内へ誘導結合する間に、比較的少量のRFパワーを、ルーフ236を介して誘導結合させ、チャンバ内の磁界とプラズマ分布を微調整することである。図24のリアクタについて説明したように、RF電力比は3:1から4:1が普通である。

【0123】ルーフ236は主として絶縁性のシリコンカーバイドで作られ、場合によっては接地または容量バイアス用に薄いCVDシリコンカーバイド導体表面層を設けてもよい。より単純な設計を行う場合、ルーフ236を、抵抗率20~40 $\Omega\text{-cm}$ 程度のポリシリコンで形成することにより、二次コイル308からの磁界を通過させるとともに、接地面またはRFバイアス電極を維持することができる。しかしポリシリコンは比較的脆い材料であり、大きな平坦形状は機械的に弱い。運転と休止の間の期間中、ポリシリコンルーフ236への熱応力を最小にしなければならない。二次コイル308へ供給するパワーを減らすと、ルーフ236への応力が確実に減る一方、主コイル180によって起こるより大きな熱応力が、より強靱な材料で作られた、より強い円錐形ドーム130へ加えられる。従って、シリコンルーフ236の背面の二次コイルへ供給するパワーを減らすことによって、さらに大きな利点が得られる。

【0124】円錐形ドームは、RF誘導結合を用いないリアクタにも適用可能である。図33に示すリアクタにおいては、円錐形ドーム130とルーフ236は共に、導体材料製であって接地される一方、ベDESTAL52はRF電源56により電力を供給される。この構成は、標準的な反応イオンエッチング(RIE)に好適である。図34に示すリアクタにおいて、円錐形ドーム136は接地され、電力分割RF電源454がルーフ236とベDESTAL52の間に接続されて、両者へRF電力を供給する。この構成は、先に引用したオグル他の特許に記載された構成に類似するパワー分割RIEにとって有用である。

【0125】円錐形ドームを含む種々の構成は、一つの

基本設計が多くの明確に異なるプロセスに実施できることを実証している。汎用設計に小規模の変更を加えることによって様々なチャンバを設計することができ、その結果、設計の単純化と部品点数の削減ができる。代わりになるものとして容量結合されたルーフ236と円錐形ドーム130とペDESTAL52および誘導結合された主コイル180と第2コイル308の両方に対する電氣的バイアス条件を変更するだけで、単一のチャンバを多数のプロセスモードで用いることができる。

【0126】汎用チャンバの一例を図35に概略断面図で示す。スイッチ480は、容量RF電源464からのRF電力を、ペDESTAL52または円錐壁130だけへ向かわせたり、電力分割回路466を介してルーフ236とペDESTAL52との間へ向かわせることができる。壁130にRFバイアスを印加すると、例えばそのクリーニングに有効である。ペDESTAL52に接続されたスイッチ482は、接地への接続、RF電源464への直接接続、または電極電力分割回路466接続のいずれかを選択できる。同様に、複合シリコンカーバイド円錐形ドーム130の導体内壁に接続されたスイッチ484により、円錐形ドーム130を、接地、電源非接続位置、または直接的にRF電源464に対してバイアスすることができる。ルーフ236に接続されたスイッチ476は、選択的に、ルーフを接地するか、またそれを電極電力分割回路466を介してバイアスする。この汎用実施形態において、ルーフ236は電氣的にバイアス可能であるとともに、二次コイル308からのRF電力を伝達しなければならない。従って、これを、抵抗性ポリシリコンまたは抵抗性焼結シリコンカーバイドで作り、内面にシリコンカーバイドの導体CVDコーティングを施してもよい。誘導RF電源452を、スイッチ488を介してコイル電力分割回路490に選択的に接続し、これによってRF電流を、円錐形ドーム130の外側の一次コイル180とルーフ236の頂部の二次コイル308へ、チャンバ内の磁界分布を最適化する比率で選択的に分割する。コントローラー470は、スイッチ480、482、486、488の位置と、電力分割回路466、490の電力分割比とを設定する。RFプラズマリアクタにおける接地とは、所定のDC電位で部品をバイアスすることを含むことは明らかである。また、図35は概略の形のみを示したものであり、実際の電気回路は同等の機能性を提供しつつ異なる形とすることができることは明らかである。

【0127】自動コントローラー470を用いると、発明性のあるプラズマ真空処理チャンバの壁温制御方法が可能となる。この方法は、同じ様に構成された石英製の側壁の総熱伝導率よりも大きい総熱伝導率を有するポリシリコンまたはシリコンカーバイドでできているのが好ましい、真空処理チャンバの側壁を用意するステップを含む。この側壁は、チャンバ内の基板処理位置に面する

第1面と、この第1面の反対側の第2面とを有する。この第2面は円錐形であることが望ましい。加熱部材が側壁の第2面に熱接触して配置され、この加熱部材の加熱体の配線パターンの主配向は往復パターンであって、加熱体の配線パターンの大部分は相互にほぼ平行に走っている。このチャンバは、チャンバ壁の第1面の周り全体をほぼ取り巻くように走る誘導コイルを備え、チャンバ内の処理プラズマを少なくとも部分的に活性化するように、RF電源が選択的に制御される。加熱体は一つの電源によって制御され、RFコイルと、処理チャンバ内に形成されるプラズマとから受ける側壁が受ける熱入力にほぼ等しい熱入力を、側壁に供給する。加熱体の加熱ワイヤーの主要部分は、誘導コイルにほぼ直角に走るように構成され、誘導コイルに近い平行部分は誘導コイルから離れて配置された屈曲部によって接続されている。冷却リングが側壁のひとつ以上の端部近傍に配置され、側壁と冷却リングとの間に電気伝導および熱伝導を提供するため、平面形または円錐形の接続部が両者間に設けられる。冷却リングは、冷却リングとその中を通過流れる電熱流体との間の熱エネルギー伝達を提供するための冷却流体通路を備える。電熱流体は冷却流体通路内を連続的に流される。処理チャンバ内にプラズマが存在しないときは加熱体に電力を供給せず、処理チャンバ内にプラズマが存在するときは加熱体に電力を供給することによって、側壁の温度はほぼ一定に維持される。加熱ワイヤーは、ファラデーシールドとして作用するように、誘導コイルとチャンバ壁との間に配置するのが好ましい。

【0128】処理チャンバの側壁温度を維持する方法のもう一つの実施形態は、チャンバ側壁を提供するステップと、コイル巻線をチャンバの中心軸に対して直角に巻き付けて側壁の周囲に誘導コイルを設けるステップと、大部分がチャンバの中心軸にほぼ平行でコイル内のワイヤーに直角に走るパターンを持つ加熱体をコイルと側壁の間に設けるステップと、を有する。

【0129】このように、本発明によるチャンバの円錐形は、特に、強固で製造が容易な機械的構造において温度制御とプラズマの均一性に関する数多くのプロセス上の利点を提供する。発明性のあるその他の特徴は、そのような円錐形プラズマチャンバの、特に酸化物エッチングリアクタとしての使用を補完する。

【0130】本発明は、特に酸化物エッチャーにとって有用であるが、その他の材料のエッチング用のリアクタにも容易に適合させることができる。さらに、この発明の態様のほとんどは、多くのメカニズムがエッチングと共通である化学蒸着用のリアクタに適用可能である。この発明の局面のいくつかは、特に半導体製造に用いられるような、他の真空処理装置に適用可能である。

【0131】本発明を特定の実施形態に関連して説明してきたが、当業者は、本発明の思想及び範囲から逸脱することなく、本発明の形状と細部を変更できることは明

らかである。

【図面の簡単な説明】

【図1】基板と対向電極の間の面積比が大きい、従来技術の容量結合プラズマ反応チャンバの概略側面図である。

【図2】基板と対向電極の間隔が狭い、従来技術の容量結合プラズマ反応チャンバの概略側面図である。

【図3】容量結合かつ誘導結合された、従来技術のプラズマ反応チャンバの概略側面図である。

【図4】ウェーハ上に平坦な誘導コイルが配置された、従来技術のプラズマ反応チャンバの概略側面図である。

【図5】ウェーハのほぼ上方に半球状誘導コイルが配置された、従来技術のプラズマ反応チャンバの概略側面図である。

【図6】ウェーハの枚数またはコールドスタート後の時間の関数としてのエッチング選択性を示すグラフである。

【図7】従来技術の処理チャンバの断面図である。

【図8】図7の処理チャンバの側壁の拡大断面図である。

【図9】図7の従来型の処理チャンバの、上側対向電極とウェーハ支持ベDESTAL電極の相対寸法の概略見取り図である。

【図10】本発明による処理チャンバの断面図である。

【図11】図10に示すチャンバのコンポーネントの一部断面分解斜視図である。

【図12】図10と図11に示す処理チャンバとリング加熱/冷却部材の形状が多少異なる円錐形側壁の実施形態の拡大断面図である。

【図13】センターガスフィードと熱電対を示す、図10の拡大部分断面図である。

【図14】図10に示す本発明による処理チャンバの上側対向電極とウェーハ支持ベDESTAL電極の相対寸法の概略斜視図である。

【図15】図10～図12に示す処理チャンバコンポーネントの、サーマルサイクル中に発生する力と動きを示す概略側面図である。

【図16】従来技術と本発明のリアクタによるプラズマの均一性を示すグラフである。

【図17】図10に示すチャンバ用のランプ加熱側壁編成を示す処理チャンバの他の実施形態の拡大断面図である。

【図18】図10に示すチャンバ用のフレキシブルヒーター構造のさらに他の実施形態を示す図である。

【図19】図18の断面において、19の方向から見た加熱体と巻コイル構造の、ヒーター被覆を省略した部分側面図である。

【図20】図18の断面において見られるチャンバ構造のコンポーネントの一部断面分解斜視図である。

【図21】図20のワイヤーコイル巻線のための代替構

成の側面分解斜視図である。

【図22】平面シートから切り取った円錐形加熱被覆の平面図である。

【図23】本発明による誘導コイルのワイヤーを円錐形に巻くための巻線ジグの側面図である。

【図24】本発明による処理チャンバの頂部の他の実施例の断面図であって、チャンバのルーフの上部の第2ヒーター/クーラーと第2コイルを示す。

【図25】図7に示す従来技術の処理チャンバの側壁を通る熱エネルギーの流れを概念的に示す図である。

【図26】図10に示す本発明による処理チャンバの側壁を通る熱エネルギーの流れを概念的に示す図である。

【図27】図18～20に示す本発明による処理チャンバの側壁を通る熱エネルギーの流れを概念的に示す図である。

【図28】図24に示す本発明による処理チャンバの側壁を通る熱エネルギーの流れを概念的に示す図である。

【図29】本発明の特徴を組み込んだ好ましい構成の概略ブロック図である。

【図30】本発明の、基板に対向するルーフ電極と処理基板を支持するサセプタの間で、電力を供給および分割する電力分割回路の概略図である。

【図31】本発明を実施するためのコントローラの接続ブロック図である。

【図32】別々のルーフと円錐形ドームを持ち、チャンバ内へエネルギーを誘導的に結合する第1と第2のコイルを用いるプラズマリアクタチャンバの概略断面図である。

【図33】円錐形ドームを持つがベDESTALにのみ標準バイアスを印加するプラズマリアクタチャンバの概略断面図である。

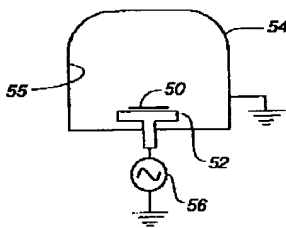
【図34】接地された円錐形ドームと、ルーフおよびベDESTALの間でRF電力分割を行うプラズマリアクタチャンバの概略断面図である。

【図35】複数のプロセスモードで作動するように電気的に構成可能なプラズマリアクタチャンバの概略断面図である。

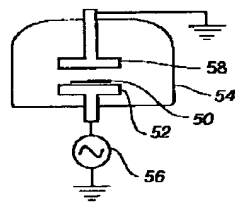
【符号の説明】

52…ベDESTAL、52'…基板処理位置、106…下部チャンバ、130…ドーム（チャンバ壁）、132…プラズマシールド、134…水平レグ、136…上部レグ、138…シールリング、140、144、156…リップ、142、152、230、232…Oリング、144、154…弾性支持パッド、166…ばね部材、180…誘導コイル、188…コイル支持部材、200…冷却リング、212…ヒーターハウジング、214…加熱体、220…冷却流体通路、222…閉止プレート、234…プラズマガード、236…チャンバルーフ、240…加熱プレート、244…冷却プレート、248…トップカバー。

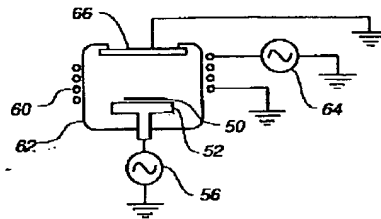
【図1】



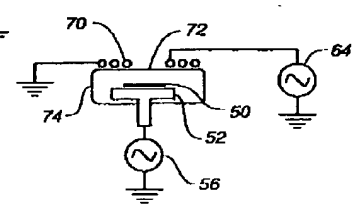
【図2】



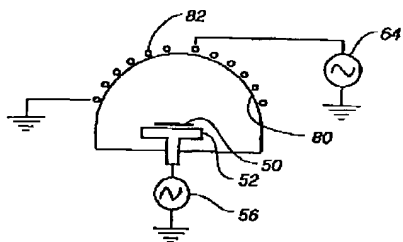
【図3】



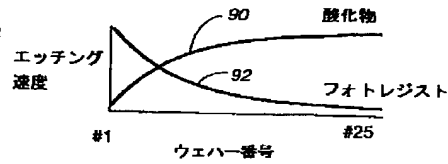
【図4】



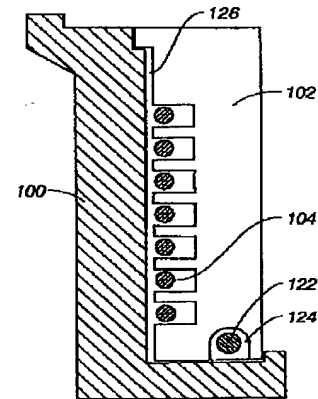
【図5】



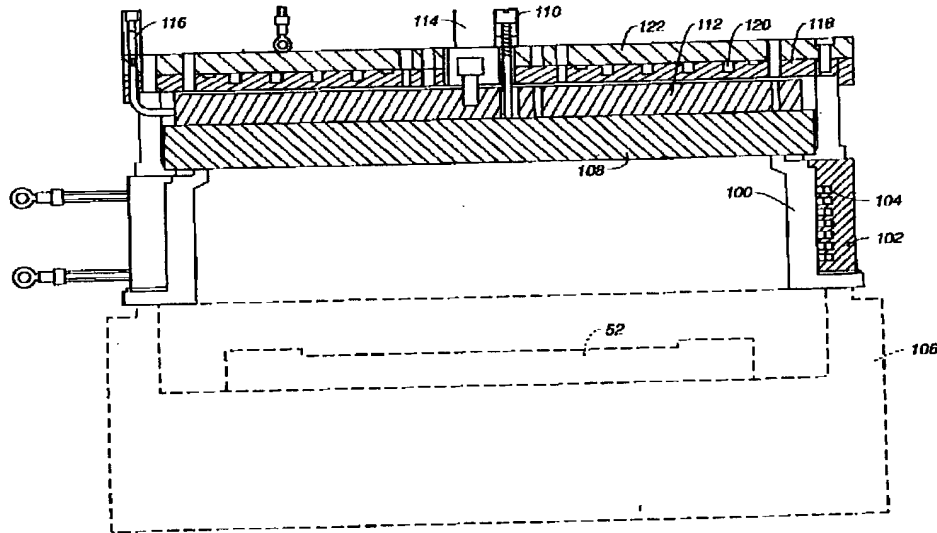
【図6】



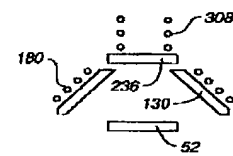
【図8】



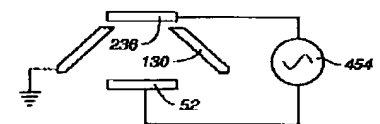
【図7】



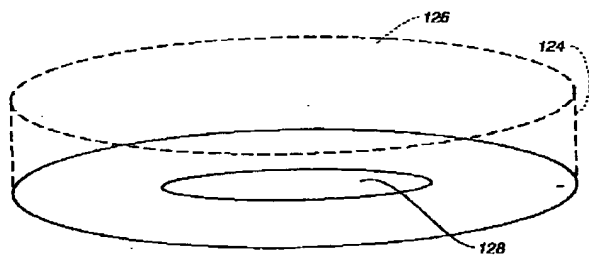
【図32】



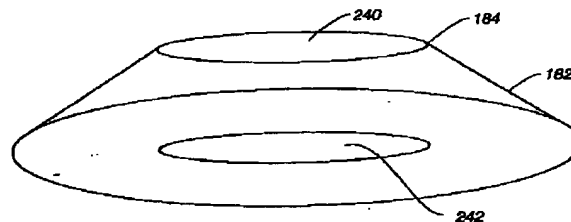
【図34】



【図9】

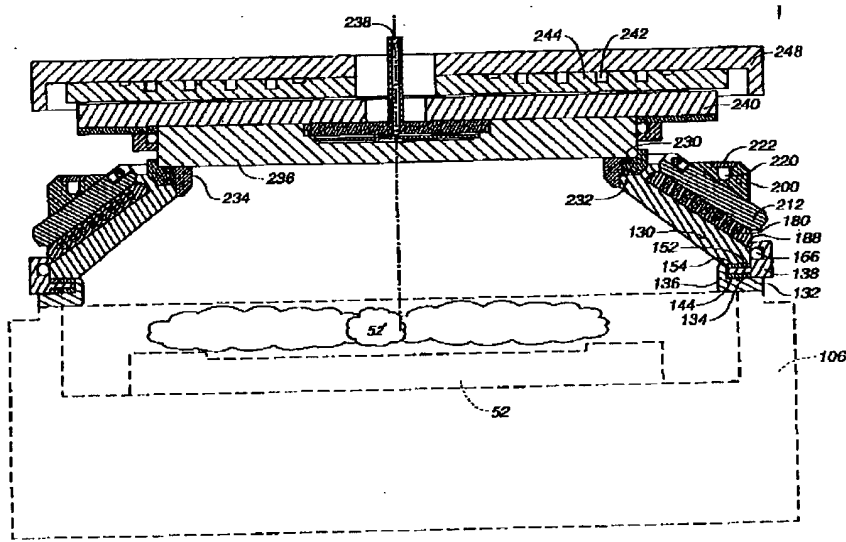


【図14】

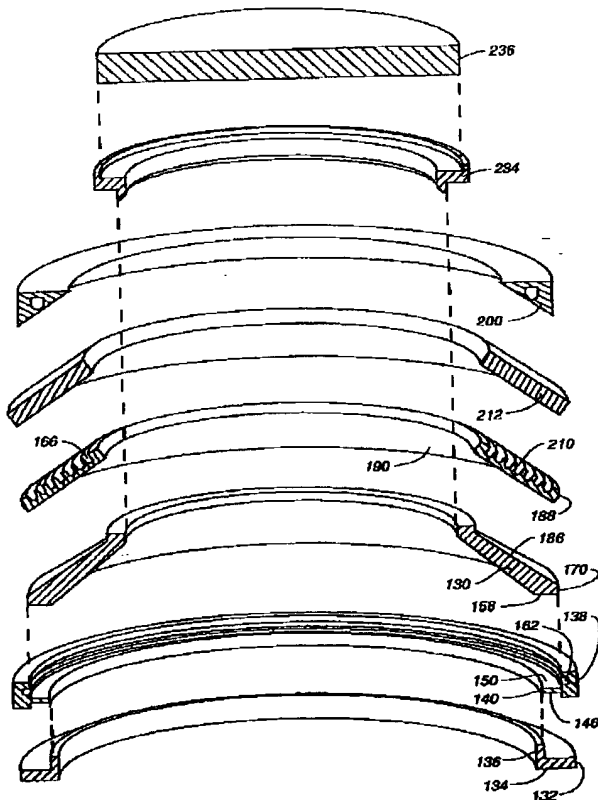




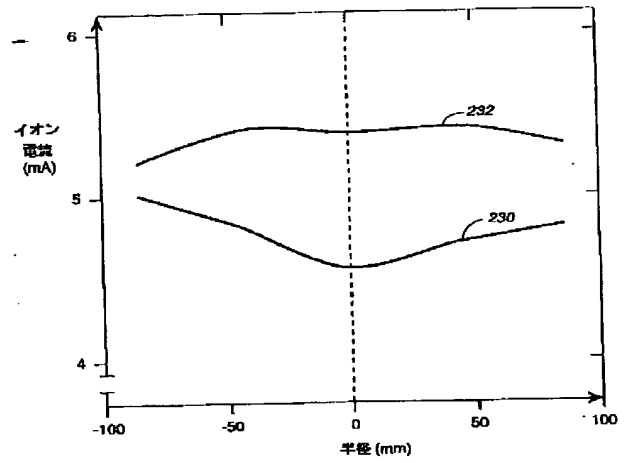
【図10】



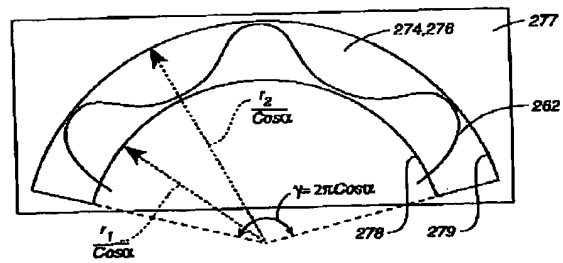
【図11】



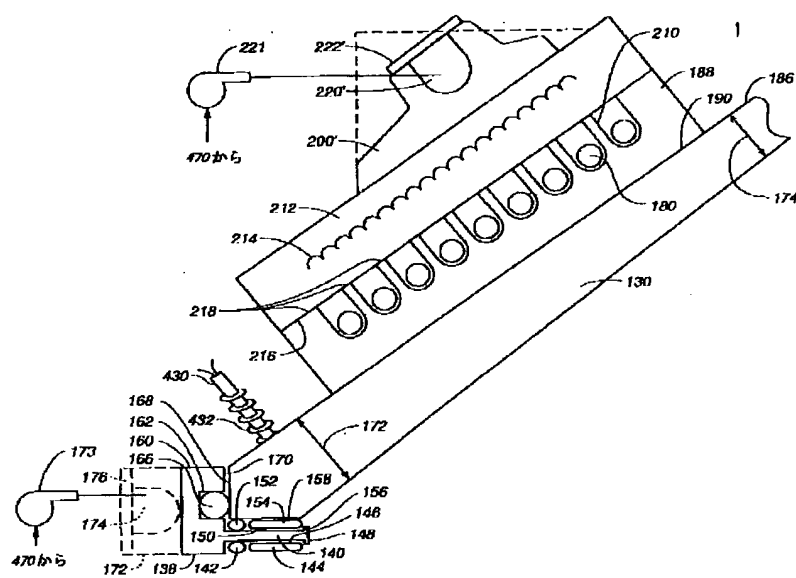
【図16】



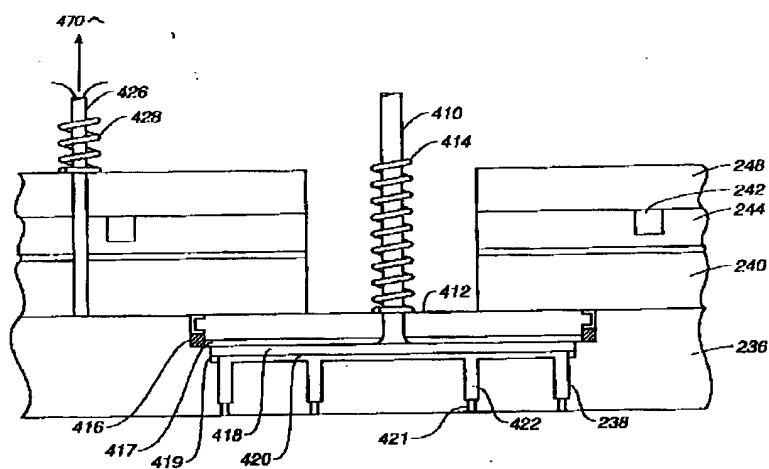
【図22】



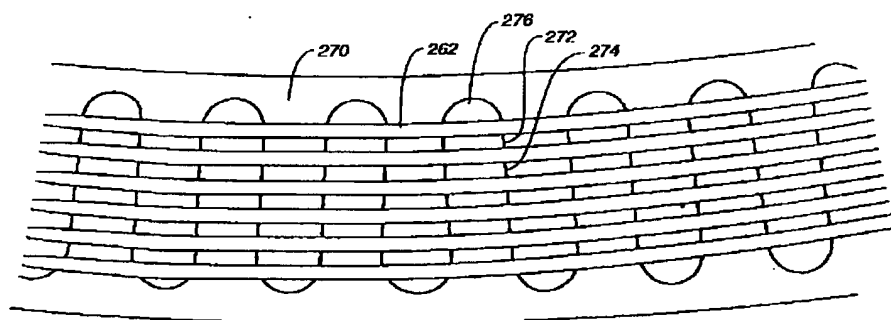
【図12】



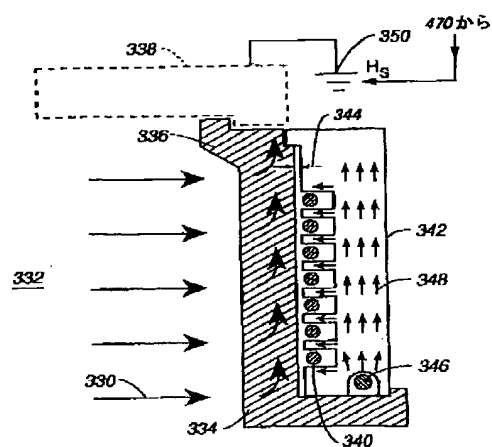
【図13】



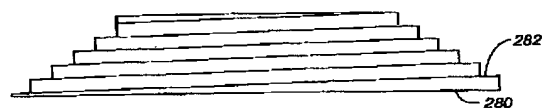
【図19】



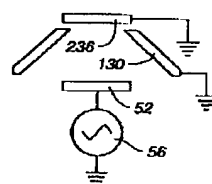
【図25】



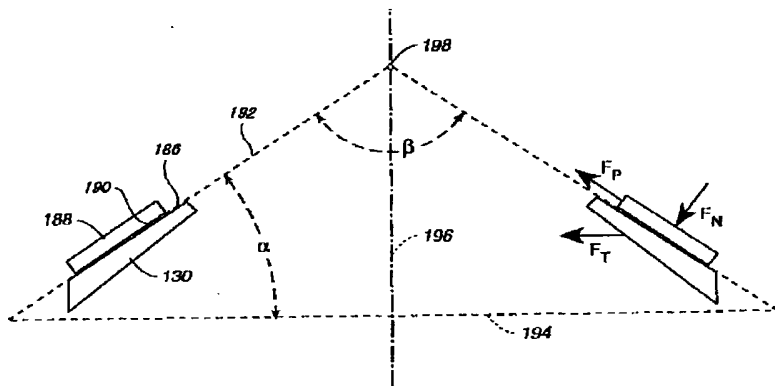
【図23】



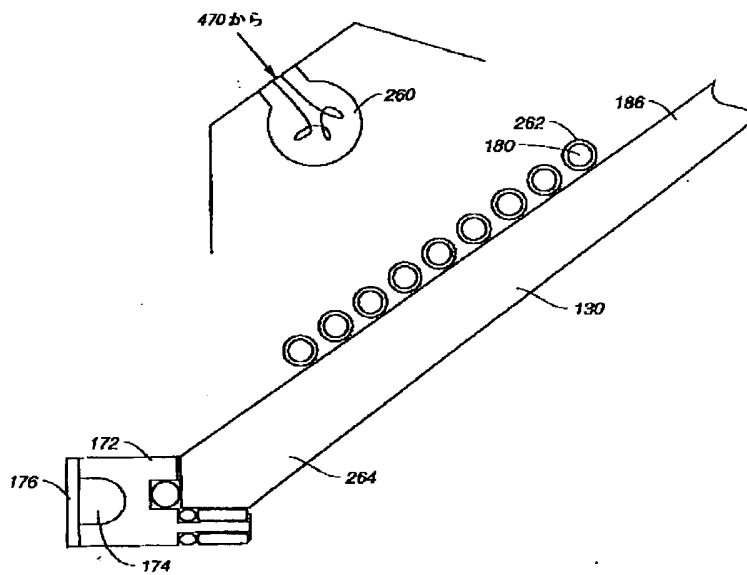
【図33】



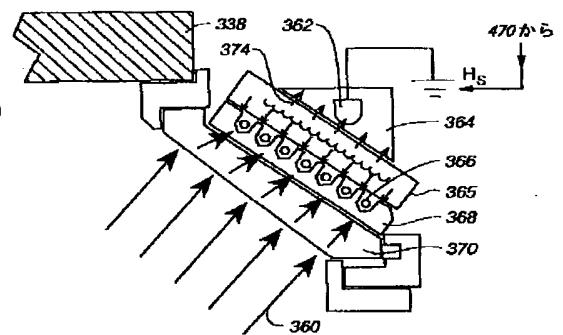
【図15】



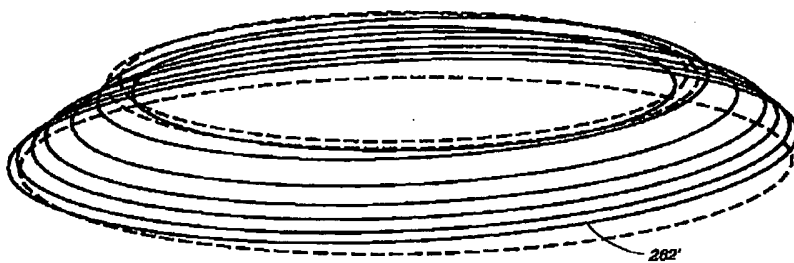
【図17】



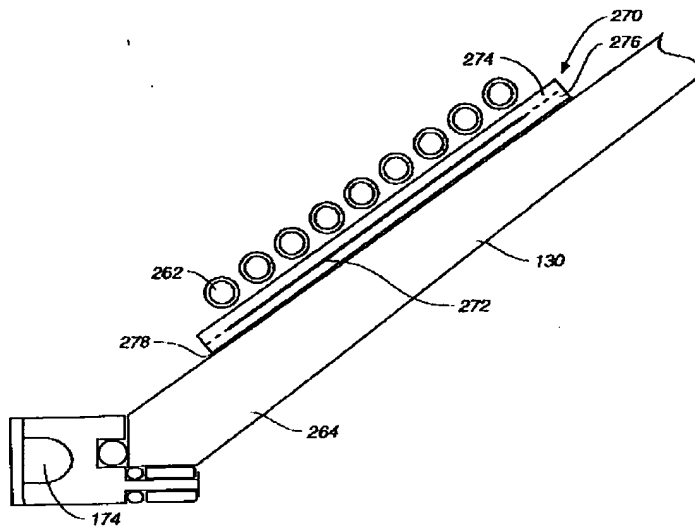
【図26】



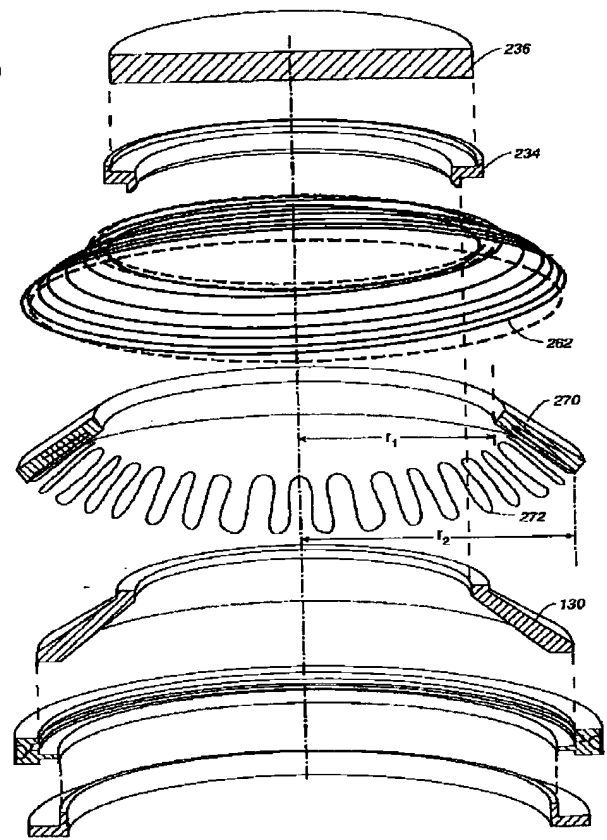
【図21】



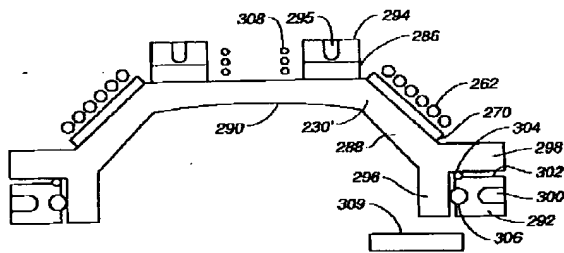
【図18】



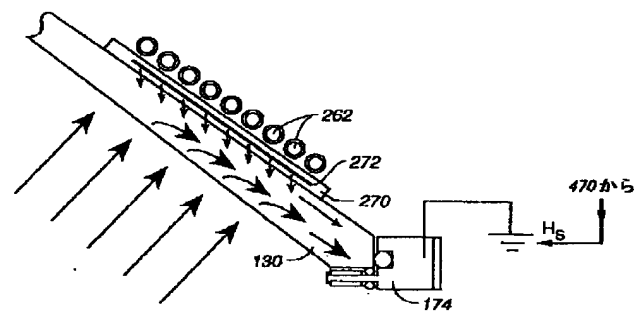
【図20】



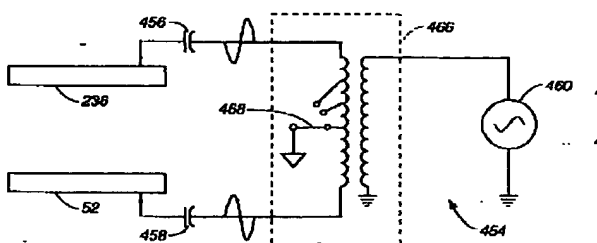
【図24】



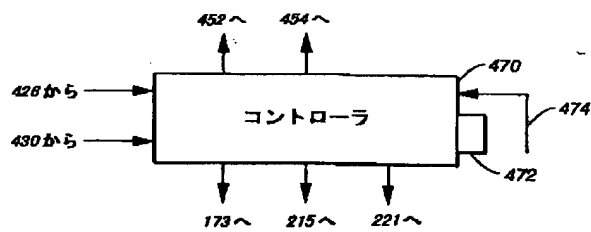
【図27】



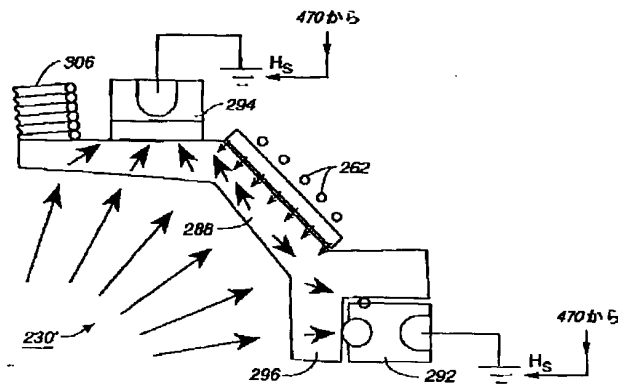
【図30】



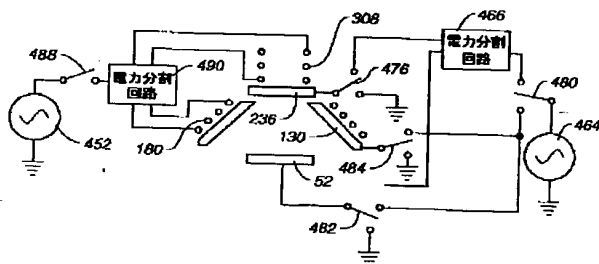
【図31】



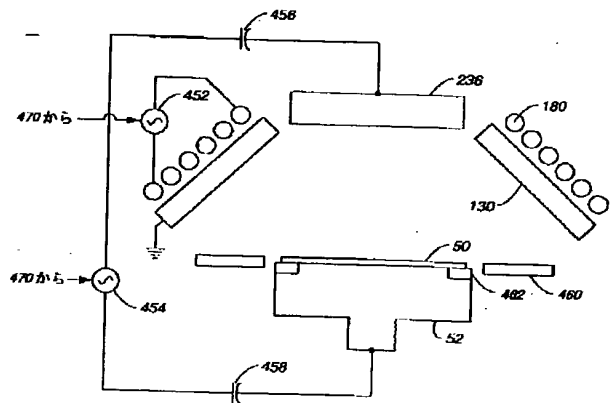
【図28】



【図35】



【図29】



フロントページの続き

(72)発明者 ヴィクトル シェル  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州、  
ミルピタス、ベイヴュー パーク ドラ  
イヴ 505

(72)発明者 アンドリュー ニューエン  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州、  
サン ノゼ、ホステター ロード 3148

(72)発明者 ロバート ダブリュー. ウ  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州、  
プレザントン、パセオ グラナダ 3112

(72)発明者 ジェラルド ズィー. イン  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州、  
クパティノ、ビリチ アレイス 10132